

ISSN 1998-8990

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
**ПРОБЛЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ  
В ТЕХНОСФЕРЕ**

PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT

**№ 1 (65)–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. Зволен, 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>Evyukov 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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ***БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ***

Самигуллин Г.Х., Захаров А.Е. Снижение пожарной опасности при использовании полимерных эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов ..... 8

### ***ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ***

Богущий С.Ю., Шидловский Г.Л., Иванов А.Н. Исследование технических средств систем пожарной сигнализации при расследовании пожаров ..... 17

Потапова Ю.С., Колесников Е.Ю., Захматов В.Д. Пути решения проблемы взрывов газа в жилых домах ..... 27

Таранцев А.А., Поташев Д.А. О повышении взрывобезопасности подземных стоянок автомобилей ..... 38

Попова Ю.И., Минкин Д.Ю., Крутолапов А.С. Разработка системы управления пожарной безопасностью на межпоселковой сети газопотребления ..... 47

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

Иванов А.Р. Канцерогенный риск и содержание ионов некоторых металлов в сточной воде канализации города Санкт-Петербурга в 2011–2017 годах ..... 57

Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Смирнов А.С. Междисциплинарный подход обеспечения безопасности пожарных автомобилей при реагировании на чрезвычайные ситуации ..... 67

Дадашов И.Ф., Мусаев М.Э., Дорошенко С.И. Пути создания универсального средства для ликвидации чрезвычайных ситуаций при разливах токсичных жидкостей ..... 74

Самигуллин Г.Х., Гремин Ю.В. Совершенствование методики оценки пожарной опасности на объектах водного транспорта в сложных природно-климатических условиях ..... 83

Гетманцев А.Ю. Классификация показателей эффективности контроля безопасности испытаний и эксплуатации беспилотных воздушных судов (беспилотных летательных аппаратов) ..... 94

Королев Д.С., Калач А.В., Кончаков С.А. Совершенствование технических интеллектуальных систем обнаружения и мониторинга лесных пожаров ..... 105

Цховребов Э.С., Гордиенко А.Н. Метод оценки экологических угроз и рисков при функционировании техносферных объектов ..... 114

Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Метод прогнозирования техногенных опасностей на основе определения содержания поллютантов в отработавших газах лодочных моторов .... 127

Москвин А.А., Целых Е.Д. Когнитивная интерпретация морфофункциональных индикаторов организма машинистов локомотивных бригад ..... 138

Кубанов И.Н., Минкин Д.Ю. Риск-ориентированная методика испытания аккумуляторных батарей для троллейбусов с увеличенным автономным ходом ..... 146

### ***ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ***

Яценко Л.А. Обнаружение следов смешанных растворителей методом газожидкостной хроматографии по составу газовой фазы над объектом-носителем ..... 157

Иванов А.В. Применение «нанокompозитного подхода» при создании огнезащитных вспучивающихся составов ..... 171

Преснов А.И., Печурин А.А., Марченко М.А. Системы выравнивания ступеней пожарных автолестниц: состояние, перспективы, технические решения ..... 182

Дашко Л.В., Синюк В.Д., Владимиров В.Ю. Методы исследования бетонных конструкций после взрыва и последующего пожара ..... 193

Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере». ..... 204

## CONTENTS

### ***SAFETY OF CRITICALLY IMPORTANT AND POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS***

**Samigullin G.Kh., Zakharov A.E.** Reduction of fire hazard when using polymeric elastic tanks for oil and petroleum products storage ..... 8

### ***FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY***

**Bogutsky S.Yu., Shidlovsky G.L., Ivanov A.N.** Investigation of technical means of fire alarm systems in the investigation of fires ..... 17

**Potapova Yu.S., Kolesnikov E.Yu., Zakhmatov V.D.** Ways to solve the problem of gas explosions in residential houses ..... 27

**Tarantsev A.A., Potashev D.A.** On improving the explosion safety of underground parking lots ..... 38

**Popova Yu.I., Minkin D.Yu., Krutolapov A.S.** Assessment of fire risk in the inter-settlement network of gas consumption ..... 47

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

**Ivanov A.R.** Carcinogenic risk for human health and the concentration of certain metal ions in wastewater in Saint-Peterburg in 2011–2017 ..... 57

**Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Smirnov A.S.** An interdisciplinary approach to ensuring the safety of fire trucks in emergency response ..... 67

**Dadashov I.F., Musayev M.E., Doroshenko S.I.** Ways to create a universal tool for emergency response in case of spills of toxic liquids ..... 74

**Samigullin G.Kh., Gremin Yu.V.** Improving the methodology of fire hazard assessment at water transport facilities in difficult natural and climatic conditions ..... 83

**Getmantsev A.Yu.** Classification of indicators of the effectiveness of safety control of testing and operation of unmanned aircraft (unmanned aerial vehicles) ..... 94

**Korolev D.S., Kalach A.V., Konchakov S.A.** Improvement of technical intelligent systems for detecting and monitoring forest fires ..... 105

**Tshovrebov E.S., Gordienko A.N.** A method for assessing environmental threats and risks in the operation of technosphere objects ..... 114

**Lozhkina O.V., Malchikov K.B.** Method for predicting anthropogenic hazards based on determination of pollutants content in exhausts of boat motors ..... 127

**Moskvin A.A., Tselykh E.D.** Cognitive interpretation of morphofunctional indicators of the organism of engine engineers of locomotive brigades ..... 138

**Kubanov I.N., Minkin D.Yu.** Risk-based battery testing methodology for trolleybus with increased autonomous travel ..... 146

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

**Yatsenko L.A.** Detection of traces of mixed solvents by gas-liquid chromatography by the composition of the gas phase above the carrier object ..... 157

**Ivanov A.V.** «Nanocomposite approach» in the creation of fire-retardant intumescent compositions ..... 171

**Presnov A.I., Pechurin A.A., Marchenko M.A.** Leveling systems for steps of fire trucks: state, prospects, technical solutions ..... 182

**Dashko L.V., Sinyuk V.D., Vladimirov V.Yu.** Methods for the study of concrete structures after an explosion and subsequent fire ..... 193

**To the authors of the journal «Problems of risk management in the technosphere» ..... 204**

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**

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Научная статья

УДК 614.84

## СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛАСТИЧНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Самигуллин Гафур Халафович;

✉ Захаров Александр Евгеньевич.

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

✉ frzakhsach@mail.ru

*Аннотация.* Увеличение объема добычи и переработки нефти вызывает увеличение объемов резервуарных парков, а также разработку и применение полимерных эластичных резервуаров. Ввиду высоких пожароопасных свойств как самих полимерных эластичных резервуаров, так и хранимых в них веществ, актуальными являются риски возникновения пожароопасных ситуаций. Снижение пожарной опасности данных объектов возможно путем применения наноглеродного компонента астралена в составе полимеров, что позволяет улучшить их термостойкость и снизить горючесть композитов, применяемых для изготовления эластичных резервуаров.

Для оценки влияния астраленов на горючесть полимерных композитов были изготовлены экспериментальные образцы из сырья каучука с различной концентрацией наноглеродных частиц и последующей вулканизацией. При проведении термогравиметрического анализа данных образцов полимеров был использован дериватограф «ThermoScan-2». Полученные результаты представлены в виде графической зависимости остаточной массы образцов от концентрации астраленов при температуре 800 °С. Было установлено, что модификация полимерных материалов астраленами способствует снижению пожарной опасности эластичных резервуаров при хранении нефти и нефтепродуктов.

*Ключевые слова:* астралены, полимерные композиты, углеродные наноструктуры, полимерные эластичные резервуары, нефтепродукты, пожарная опасность

**Для цитирования:** 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.

Scientific article

## REDUCTION OF FIRE HAZARD WHEN USING POLYMERIC ELASTIC TANKS FOR OIL AND PETROLEUM PRODUCTS STORAGE

Samigullin Gafur Kh.;

✉ Zakharov Alexandr E.

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

✉ frzakhsach@mail.ru

*Abstract.* The increase of oil production and refining causes an increase of the volume of tank farms and the development and using of polymeric elastic tanks. Due to the high fire hazardous properties of both the polymeric elastic tanks themselves and the substances stored in them,

the risks of fire hazards are relevant. It is possible to reduce fire hazard of these objects by using nanocarbon component – astralen in polymers to improve their thermal resistance and decrease flammability of composites used for elastic tanks.

To assess the effect of astralens on the flammability of polymer composites, experimental samples of raw rubber with different concentrations of nanocarbon particles and subsequent curing were made. Thermogravimetric analysis of these polymer samples was performed with using of a derivatograph, which is named ThermoScan-2. The obtained results are presented as a graphical relationship between residual mass of the samples and the concentration of astralenes at temperature of 800 °C. It was found that modification of polymeric materials with astralenes contributes to reduction of fire hazard of elastic tanks during storage of oil and petroleum products.

*Keywords:* astralen, polymer composites, carbon nanostructures, polymer elastic tanks, oil products, fire hazard

**For citation:** Samigullin G.Kh., Zakharov A.E. Reduction of fire hazard when using polymeric elastic tanks for oil and petroleum products storage // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 8–16.

### Введение

Интенсивное развитие топливно-энергетического комплекса Российской Федерации с внедрением альтернативных технологий и полимерных материалов обусловило разработку и применение новых средств для хранения нефти и нефтепродуктов на нефтегазовых объектах [1–3]. Производственные предприятия все шире используют прогрессивные решения при обустройстве мобильных резервуарных парков и нефтебаз, основанные на применении эластичных полимерных резервуаров (ЭПР). Данная разновидность резервуаров выполняется из легких, прочных и термопластичных полиуретановых композитов, имеющих многочисленные преимущества перед металлическими резервуарами [4–6]:

- сравнительная дешевизна и простота изготовления ЭПР;
- простота монтажа без необходимости специальной техники сложной подготовки основания площадки;
- малый вес и мобильность ЭПР;
- отсутствие коррозии, возможность эксплуатации при низких температурах и т.д.

Наряду с приведенными выше достоинствами ЭПР, широкий спектр условий эксплуатации и разнообразие областей применения требует наличия определенных специфических свойств композитных материалов: механическая прочность, низкотемпературная эластичность, химическая инертность, термическая устойчивость и т.д. Для этих целей исследователями применялись различные способы улучшения эксплуатационных свойств полимеров, которые являются основным компонентом при изготовлении ЭПР. Основной целью применения модификаторов в составе полимерных композитов являлось улучшение механических свойств (прочность, пластичность, упругость), химической инертности и стабильности при контакте с агрессивными веществами, а также способность выдерживать воздействие высоких температур (табл. 1).

Данные, представленные в табл. 1, позволяют сформулировать следующие положения:

- использование антипиренов значительно повышает порог термической стойкости материалов, но ослабляет их физико-механические свойства;
- применение таких компаундов, как глина или гликолурил ухудшает механические свойства полимерных материалов и снижает их термостойкость;
- применение огнезащитных составов с повышенной адгезией к полимерам способствует повышению огнестойкости материалов, но снижает его электропроводность, что может привести к накоплению электростатического заряда внутри резервуара;
- углеродные наноструктуры, в частности многостенные углеродные нанотрубки, способны образовывать с полимерами мощные связи, что способствует получению однородной структуры и сохранению механических характеристик полимера. Также, благодаря своей

способности встраиваться в структуру полимера, углеродные нанотрубки повышают общую термическую стойкость материала, причем у большинства экспериментальных образцов на 10–25 % уменьшился вес остатка в сравнении с исходными полимерами.

Таблица 1

## Сведения по модифицированию полимерных композитов

Модификатор	Название/марка	Полученные улучшения характеристик и свойств		
		механические	химические	термические
углерод	углеродные нанотрубки [7]	+	+	+
	технический углерод, модифицированный соединениями фтора [7]	+	+	+
	углеродные нанотрубки многостенные [8]	+	*	*
антипирены	оксид сурьмы (III) [9]	*	*	+
	борат цинка марки В [9]	*	*	+
	хлорпарафин [10]	*	*	+
	гидроксид алюминия [11]	без изменен.	*	+
	декабромдифенилоксид [12]	+	*	+
прочие вещества	гликолурил [13]	+	*	+
	модифицированная глина (монтмориллонит) [14]	*	*	ухудш.

*Примечание:* \* – исследования не проводились

Следовательно, наиболее перспективным способом повышения огнестойкости резервуаров из полимерных материалов является внедрение углеродных наноструктур. С другой стороны, оценка безопасности эксплуатации хранилищ нефти и нефтепродуктов показала, что вопросы обеспечения взрывопожарной безопасности не решены в полном объеме [15, 16]. В данной связи в настоящей работе решалась задача по проведению экспериментальной оценки влияния наноуглеродного компонента астралена на горючесть полимерных композитов, применяемых для изготовления эластичных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

## Материалы и методы исследования

В качестве модельного образца был использован полимерный композитный материал – клей для горячей вулканизации марки Rema TIP-TOP Solution MTR, имеющий согласно паспорту безопасности [17] в составе: этилацетат, углеводороды C<sub>6</sub>-C<sub>7</sub>, n- и i-алканы, циклические УВ-соединения, оксид цинка и циклогексилэтиламин. В совокупности перечисленные компоненты образуют готовую смесь для получения каучука путем вулканизации. Выбор композитного материала был обусловлен широким компонентным составом, схожестью механических характеристик, отражающих поведение полимеров при воздействии повышенных температур и простотой внедрения в состав композита углеродных частиц (астраленов).

Использованный для целей улучшения термостабильности 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±0,1 г/см<sup>3</sup> и термобароустойчивость к графитизации при 3 000 °С не менее 50 КБар...» [18].

Основная идея проводимого эксперимента заключалась в постепенном нагреве образцов с различной концентрацией модифицирующего компонента – астралена до температуры 800 °С и проведении сравнительного анализа сведений по потере массы. Для этого был использован метод термогравиметрического анализа с применением дериватографа «THERMOSCAN-2» [19], который позволяет определять изменение массы исследуемого образца в зависимости от изменения температуры во времени при нагревании или охлаждении. В дериватографе непрерывная регистрация изменений осуществлялась на термовесах, исследуемый образец помещался в тигель, опирающийся на коромысло термовесов, после чего осуществлялся равномерный нагрев тигля в электропечи с регистрацией изменений массы образца как в большую, так и в меньшую сторону.

Получение однородного раствора полимера с наночастицами осуществлялось с помощью ультразвукового гомогенизатора. Для приготовления устойчивого однородного раствора вводили навеску астраленов в полимерную смесь, полученный состав подвергали обработке в гомогенизаторе с соблюдением определенной частоты и уровня мощности прибора (45 кГц и 10 Вт соответственно), так как превышение данных параметров может способствовать разрушению структуры полимера.

Для исследования были приготовлены четыре вида образцов:

1. Исходный полимер без модификации (контрольный образец).
2. Модифицированный полимер с содержанием астралена 0,1 мас. %.
3. Модифицированный полимер с содержанием астралена 1 мас. %.
4. Модифицированный полимер с содержанием астралена 10 мас. %.

Фото остатков исследуемых образцов после проведения термогравиметрического анализа приведены на рис. 1.

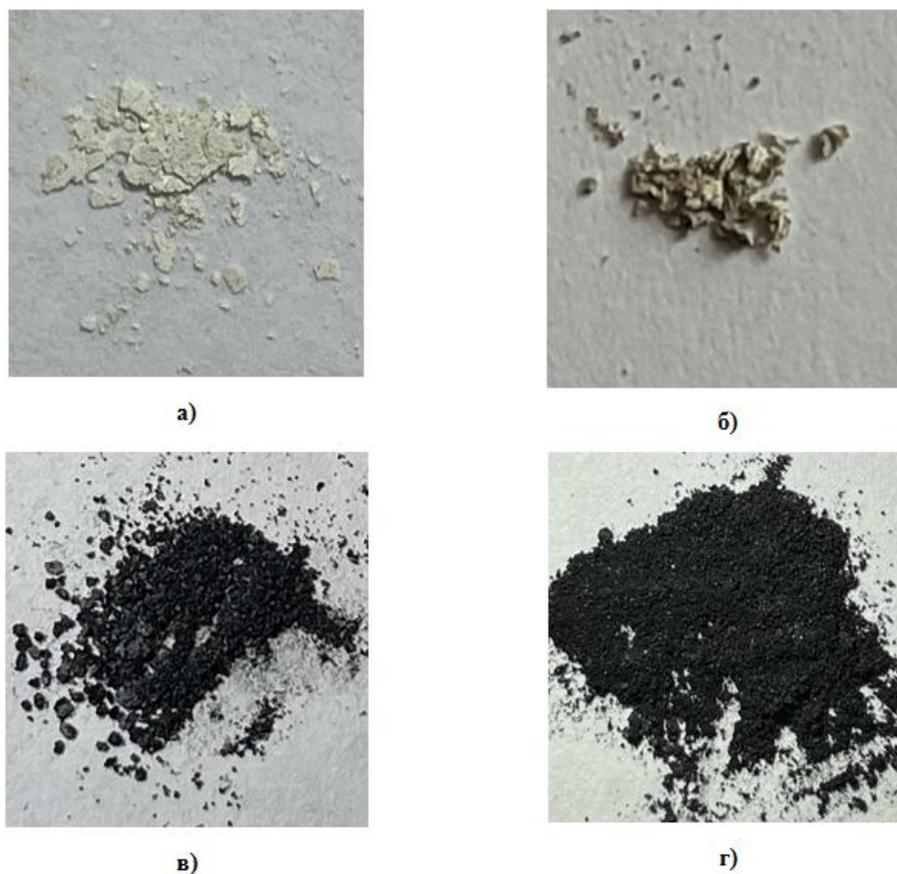


Рис. 1. Исследуемые образцы полимерных композитов с различным содержанием астраленов: а) исходный композит без астраленов; б) концентрация 0,1 мас.%; в) концентрация 1,0 мас.%; г) концентрация 10,0 мас. %

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты лабораторных исследований по изучению влияния астраленов для полимерных композитов представлены в табл. 2.

Таблица 2

#### Результаты термогравиметрического анализа полимерных композитов с различной концентрацией астраленов

№ образца	Масса, г		Потеря массы $\Delta m$		Масса остатка, $m_{ост}$ , %
	до нагрева $m_{20}$	после нагрева $m_{800}$	г	%	
1	0,102±0,0002	0,003±0,07*10 <sup>-5</sup>	0,099	97,7	3,3
2	0,101±0,0001	0,004±0,06*10 <sup>-5</sup>	0,097	96,8	4,2
3	0,108±0,0008	0,012±0,06*10 <sup>-5</sup>	0,096	88,2	11,8
4	0,108±0,0006	0,032±0,20*10 <sup>-5</sup>	0,760	70,3	29,7

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 2.

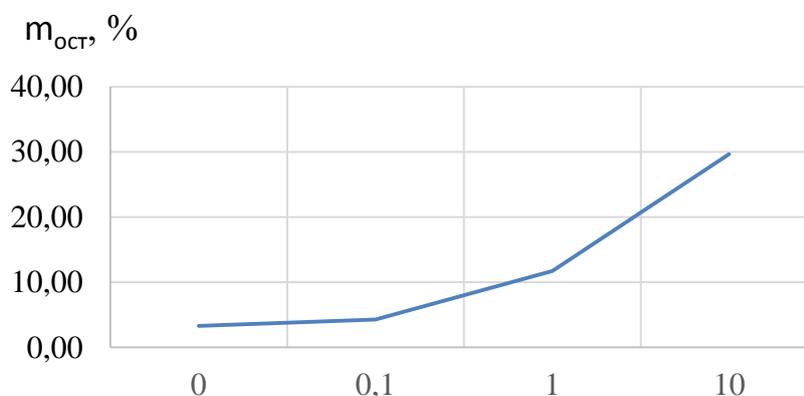


Рис. 2. Графическая зависимость остаточной массы образцов от концентрации астраленов при температуре 800 °С

#### Анализ экспериментальных результатов

При рассмотрении результатов эксперимента в табличном и графическом виде можно отметить, что термостабильность исследуемых образцов пропорционально зависит от содержания в них наночастиц астралена. В лучшей степени проявили себя образцы № 3 и № 4, содержащие 1 мас.% и 10 мас.% астралена соответственно. Получившийся компандированный композит показал повышение термической стабильности и сохранил однородность и целостность структуры. Стоит отметить, что образец № 4 с содержанием 10 мас.% астралена превосходит предыдущий материал по термостабильности и значительно отличается по внешнему виду негорючего остатка вследствие повышенного содержания углеродных наноструктур и дальнейшего их слипания с образованием микроструктур (конгломератов).

Таким образом, астралены за счет повышенной способности к связыванию полимеров могут образовывать качественно новые композитные материалы, обладающие повышенной термостойкостью. Соответственно, по приведенным в табл. 1 сведениям, также ожидаемо должны улучшиться механические свойства композитов. Для получения количественных оценок прочностных показателей полимерных композитов, модифицированных астраленами, необходимо проведение дополнительных экспериментов с другими видами полимеров и эластомеров, а также требуется углубленное исследование физико-механических свойств получаемых образцов.

## Выводы

В результате проведенной серии экспериментов по исследованию термостабилизационных качеств астралена были получены сведения, подтверждающие целесообразность применения углеродных наноструктур в производстве полимерных эластичных резервуаров для хранения нефтепродуктов, а также обоснована необходимость проведения дальнейших исследований. Стоит отметить, что результаты данных исследований положительно коррелируют с аналогичными исследованиями зарубежных ученых касательно применения углеродных наноструктур для повышения огнестойкости и термостабильности полимеров [20, 21]. Рассмотренный метод модификации полимерных материалов, повышающий термостабильность полимерных материалов, позволит реализовать мероприятия по снижению пожарной опасности ЭПР при хранении горючих материалов – нефти и нефтепродуктов и усовершенствовать процедуры управления пожарными рисками на предприятиях нефтегазовой отрасли.

### Список источников

1. Эластичные резервуары для нефти и нефтепродуктов // Газовая промышленность. 2015. № 6 (723). С. 88–89.
2. Перспективы применения термопластичных полиуретанов в технических средствах нефтепродуктообеспечения / В.А. Корнев [и др.] // Наука, техника и образование. 2015. № 3 (9). С. 27–32.
3. 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.
4. Гимаева А.Р., Хасанов И.И. Особенности и типы подводных нефтехранилищ, используемых в арктических условиях // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2020. № 2. С. 12–15.
5. Сонин М.С. Подводный резервуар для хранения жидких углеводородов на месторождениях Арктического шельфа: дис. ... канд. техн. наук. М., 2016. 100 с.
6. Сайт науч.-произв. фирмы «Политехника». URL: <http://poli.ru/> (дата обращения: 07.04.2022).
7. Пономарев А.Н. Развитие прикладных нанотехнологий в России // Наноиндустрия. 2012. Вып. 8 (38). С. 6–11.
8. Конструкционные углепластики, модифицированные наночастицами / Г.М. Гуняев [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2012. Вып. 5. С. 277–286.
9. Chrissafis K., Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers / K. Chrissafis // Thermochemica 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. 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. Исследование влияния гликолурила и его производных на огнестойкость и физико-механические свойства резины / Е.К. Тайшибекова [и др.] // Журнал прикладной химии. 2016. Т. 89. № 1. С. 103–111.

14. Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: An overview on thermal decomposition of polycondensation polymers // *Thermochimica Acta*. 2011. № 523. P. 25–45.
15. 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.
16. Прогнозирование дальности действия поражающих факторов и ресурса безопасной эксплуатации резервуаров, изготовленных из полимерного композитного материала, в условиях отрицательных температур / Н.С. Шириева [и др.] // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2020. № 1. С. 53–72.
17. Паспорт безопасности, в соответствии с регламентом (ЕС) № 1907/2006 TИP TOP SOLUTION MTR / Код продукта: 00156-0098. 2017. 11 с.
18. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа: пат. 2196731С2 Рос. Федерация / А.Н. Пономарев, В.А. Никитин; заявитель и патентообладатель ЗАО АСТРИН. № 2000124887/11; опубл. 20.01.2003. 17 с.
19. Каныгина О.Н., Четверикова А.Г., Алпысбаева Г.Ж. Применение дериватографа «Thermoscan-2» для исследования кинетики термодеструкции образцов: метод. указания. Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2020. 17 с.
20. Thermal protection characteristics of polydimethylsiloxane-organoclay nanocomposite / Alex A. Smitha [et al.] // *Polymer degradation and stability*. 2017. Vol. 144. P. 281–291.
21. 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.

## References

1. Elasticnyye rezervuary dlya nefi i nefteproduktov // *Gazovaya promyshlennost'*. 2015. № 6 (723). S. 88–89.
2. Perspektivy primeneniya termoplastichnykh poliuretanov v tekhnicheskikh sredstvakh nefteproduktoobespecheniya / V.A. Kornev [i dr.] // *Nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2015. № 3 (9). S. 27–32.
3. Shirieva N.S., Shiriev A.K., Tlyasheva P.P. Ocenka primeneniya polevogo sklada goryuchego na baze elasticnykh rezervuarov na vostochno-tajmyrskom licenzionnom uchastke s uchetom analiza riska // *Neftgazovoe delo*. 2017. № 3. S. 169–188.
4. Gimaeva A.R., Hasanov I.I. Osobennosti i tipy podvodnykh neftehranilishch, ispol'zuemykh v arkticheskikh usloviyakh // *Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya*. 2020. № 2. S. 12–15.
5. Sonin M.S. Podvodnyj rezervuar dlya hraneniya zhidkih uglevodorodov na mestorozhdeniyakh Arkticheskogo shel'fa: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2016. 100 s.
6. Sajt nauch.-proizv. firmy «Politehnika». URL: <http://poli.ru/> (data obrashcheniya: 07.04.2022).
7. Ponomarev A.N. Razvitie prikladnykh nanotekhnologij v Rossii // *Nanoindustriya*. 2012. Vyp. 8 (38). S. 6–11.
8. Konstrukcionnye ugleplastiki, modifitsirovannye nanochasticami / G.M. Gunyaev [i dr.] // *Aviacionnye materialy i tekhnologii*. 2012. Vyp. S. S. 277–286.
9. Chrissafis K., Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part I: An overview on thermal decomposition of addition polymers / K. Chrissafis // *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. 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. Issledovanie vliyaniya glikolurila i ego proizvodnyh na ognestojkost' i fiziko-mekhanicheskie svoystva reziny / E.K. Tajshibekova [i dr.] // Zhurnal prikladnoj himii. 2016. T. 89. № 1. S. 103–111.
14. Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: An overview on thermal decomposition of polycondensation polymers // Thermochimica Acta. 2011. № 523. P. 25–45.
15. Samigullin G.H., Zaharov A.E. Ocenka pozharnogo riska pri ispol'zovanii polimernyh elastichnyh rezervuarov dlya hraneniya nefti i nefteproduktov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 4 (60). S. 6–12.
16. 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.] // Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo». 2020. № 1. S. 53–72.
17. Pasport bezopasnosti, v sootvetstvii s reglamentom (ES) № 1907/2006 TIP TOP SOLUTION MTR / Kod produkta: 00156-0098. 2017. 11 s.
18. Poliedral'nye mnogoslojnye uglerodnye nanostrukturny fulleroidnogo tipa: pat. 2196731S2 Ros. Federaciya / A.N. Ponomarev, V.A. Nikitin; zayavitel' i patentoobladatel' ZAO ASTRIN. № 2000124887/11; opubl. 20.01.2003. 17 s.
19. Kanygina O.N., Chetverikova A.G., Alpysbaeva G.Zh. Primenenie derivatografa «Thermoscan-2» dlya issledovaniya kinetiki termodestrukcii obrazcov: metod. ukazaniya. Orenburg: Orenburgskij gos. un-t, 2020. 17 s.
20. Thermal protection characteristics of polydimethylsiloxane-organoclay nanocomposite / Alex A. Smitha [et al.] // Polymer degradation and stability. 2017. Vol. 144. P. 281–291.
21. 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.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 14.12.2022; одобрена после рецензирования: 25.01.2023;  
принята к публикации: 26.01.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 14.12.2022; approved after review: 25.01.2023;  
accepted for publication: 26.01.2023

*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

# ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---

---

Научная статья  
УДК 614.842.47

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ ПОЖАРОВ

**Богущий Сергей Юрьевич.**

Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы

«Испытательная пожарная лаборатория» по г. Санкт-Петербургу, Санкт-Петербург, Россия.

**Шидловский Григорий Леонидович;**

✉ **Иванов Анатолий Николаевич.**

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

✉ *iv.52@mail.ru*

*Аннотация.* Проведен анализ практических методов пожарно-технического исследования технических средств систем пожарной сигнализации при расследовании пожаров. Отмечена необходимость в комплексном подходе при проведении пожарно-технического исследования технических средств систем пожарной сигнализации при расследовании пожаров. Предложена структура проведения пожарно-технического исследования технических средств систем пожарной сигнализации для возможности анализа их работоспособности, эффективности в условиях возникновения и развития произошедшего пожара.

Приведен алгоритм проведения процедуры визуального осмотра и функциональной проверки технических средств систем пожарной сигнализации на месте пожара, а также представлены рекомендации для сбора и фиксации данных на месте пожара, касающихся работы системы пожарной сигнализации, установленной на конкретном объекте защиты, способствующие качественному решению задач, стоящих перед исследованием пожара: анализу динамики и особенностей развития горения; установлению места первоначального возникновения горения и его технической причины.

Отмечена возможность практического применения методов математического моделирования для определения параметров развития пожара с учетом работы систем противопожарной защиты на конкретном объекте.

*Ключевые слова:* методы пожарно-технического исследования, технические средства пожарной сигнализации, структура проведения пожарно-технического исследования, динамика и особенности развития горения

**Для цитирования:** Богущий С.Ю., Шидловский Г.Л., Иванов А.Н. Исследование технических средств систем пожарной сигнализации при расследовании пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 17–26.

Scientific article

## INVESTIGATION OF TECHNICAL MEANS OF FIRE ALARM SYSTEMS IN THE INVESTIGATION OF FIRES

**Bogutsky Sergey Yu.**

**Forensic expert institution of the federal fire service «Testing fire laboratory»  
in Saint-Petersburg, Saint-Petersburg, Russia.**

**Shidlovsky Grigory L.;**

✉ **Ivanov Anatoly N.**

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**  
✉ *iv.52@mail.ru*

*Abstract.* The analysis of practical methods of fire-technical research of technical means of fire alarm systems in the investigation of fires is carried out. The need for an integrated approach in conducting fire-technical research of technical means of fire alarm systems in the investigation of fires is noted. The structure of fire-technical research of technical means of fire alarm systems is proposed for the possibility of analyzing their operability, efficiency in the conditions of the occurrence and development of the fire that occurred.

The algorithm of carrying out the procedure of visual inspection and functional verification of technical means of fire alarm systems at the fire site is given, as well as recommendations for collecting and recording data at the fire site concerning the operation of the fire alarm system installed at a specific protection object, contributing to the qualitative solution of the tasks facing the study of fire: analysis of the dynamics and features of the development of gorenje; to establish the place of the initial occurrence of gorenje and its technical cause.

The possibility of practical application of mathematical modeling methods to determine the parameters of fire development, taking into account the operation of fire protection systems at a specific facility, is noted.

*Keywords:* methods of fire-technical research, technical means of fire alarm, structure of fire-technical research, dynamics and features of the development of gorenje

**For citation:** Bogutsky S.Yu., Shidlovsky G.L., Ivanov A.N. Investigation of technical means of fire alarm systems in the investigation of fires // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 17–26.

### Введение

Исследование пожаров является одной из функций судебно-экспертных учреждений МЧС России и заключается в сборе, анализе и обобщении данных по реальным пожарам [1].

Исследование оборудования и компонентов систем пожарной сигнализации (СПС) после пожара, анализ эффективности ее работы производится пожарно-техническими экспертами непосредственно на месте пожара и в ходе дальнейшего анализа полученной информации. Лица, осуществляющие исследование технических средств СПС, должны обладать соответствующими компетенциями с необходимыми средствами инструментального контроля и измерения.

Исследование СПС после пожара имеет цель:

- установить место возникновения пожара (в том числе для последующего установления причины пожара);
- изучить процесс развития пожара, причины и условия, способствовавшие распространению опасных факторов пожара (ОФП);
- определить наличие, вид и состояние технических средств обнаружения и извещения о пожаре, средств оповещения людей о пожаре, их роль в своевременном обнаружении и извещении о пожаре, их работа в условиях пожара;

– оценить эффективность работы СПС и ее соответствие требованиям нормативных документов и нормативных правовых актов Российской Федерации по пожарной безопасности.

### **Методика исследования**

Согласно сложившемуся практическому подходу методика пожарно-технического исследования СПС после пожара включает в себя:

- проведение визуального осмотра технических средств СПС, в том числе с применением методов инструментального контроля, непосредственно после пожара;
- изучение записей журнала событий, хранящихся в энергонезависимой памяти приемно-контрольного оборудования СПС;
- проверка соответствия СПС проектной, рабочей, исполнительной документации;
- изучение эксплуатационной документации СПС объекта защиты;
- анализ классификационных характеристик, объемно-планировочных, архитектурных, конструктивных решений объекта защиты (здания, сооружения), а также пожарной нагрузки, условий и особенностей, способствующих распространению пожара;
- анализ сведений, полученных от очевидцев пожара;
- анализ сведений, полученных от дежурного персонала объекта защиты;
- анализ данных фото- и видеосъемки, проводившихся на объекте защиты в момент возникновения и развития пожара;
- проведение математического моделирования для оценки эффективности работы СПС.

### **Результаты исследования и их обработка**

Результаты проведения визуального осмотра должны быть зафиксированы в протоколе осмотра места пожара, в котором должны быть указаны: объект исследования, участвующие в проведении осмотра лица и применяемые технические средства.

В протоколе осмотра должно быть зафиксировано общее описание объемно-планировочных, архитектурных, конструктивных решений объекта защиты, а также установленных на объекте технических средств СПС.

Для дальнейшего исследования технических средств СПС рекомендуется ознакомиться со структурой и особенностями системы, изложенной в проектной, технической и эксплуатационной документации.

В первую очередь производится внешний осмотр приемно-контрольного оборудования (ППКП – приборы приемно-контрольные пожарные; ППУ – прибор пожарный управления, функциональных модулей индикации и управления), установленного в помещении пожарного поста.

В протокол заносится описание помещения, где расположено приемно-контрольное оборудование, а также описание, тип, состояние, установленных в нем технических средств СПС.

При осмотре следует обращать внимание на положение органов управления, на состояние световой индикации.

При осмотре ППКП требуется указать, в каком режиме он находится («Неисправность», «Дежурный режим», «Пожар») в соответствии с индикацией.

Если ППКП имеет встроенный дисплей, необходимо просмотреть все имеющиеся в памяти прибора записи события, зафиксировать (с проведением фотофиксации) каждое значимое событие с занесением указанных данных в протокол осмотра, в том числе номера шлейфа пожарной сигнализации (линии связи), в которых произошло срабатывание пожарных извещателей (ИП), номера адресов ИП с привязкой к зонам контроля пожарной сигнализации или помещениям, сообщения о неисправности отдельных технических средств СПС, сообщения об активации исполнительных устройств, сброс прибора, а также время их фиксации прибором. При возможности подключить к ППКП персональный компьютер,

используя специальный комплект кабелей для подключения и соответствующее программное обеспечение, создать электронную копию журнала событий, карту конфигурирования прибора, карту программирования, записав их на электронный носитель, и приложить к протоколу осмотра [2].

При наличии дополнительного пульта централизованного наблюдения, мониторинговой системы необходимо получить дублирующую информацию о работе СПС в период, предшествующий пожару, и в период возникновения и развития пожара. Необходимо зафиксировать информацию с перечнем помещений, защищаемых установками противопожарной защиты, с указанием линии связи пожарной сигнализации (для безадресных СПС указывается группа контролируемых помещений), которая размещается в местах установки ППКП в соответствии с требованиями п. 10 Правил противопожарного режима в Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479 [3] (журнал или ведомость шлейфов пожарной сигнализации), а также информацию, содержащуюся в журнале учета срабатываний СПС, хранящегося в помещении пожарного поста.

Если отсутствует возможность извлечения из хранящейся в энергонезависимой памяти приемно-контрольного оборудования СПС журнала событий и конфигурационных параметров, указанные ППКП и ППУ подлежат изъятию, упаковываются и направляются для дальнейшего исследования в судебно-экспертное учреждение.

Следует отметить, что указанное действие необходимо сделать как можно оперативнее. Дело в том, что емкость событий, хранящихся в энергонезависимой памяти приемно-контрольного оборудования, ограничена. Из практики исследования технических средств СПС следует, что значимые события в подключенном ППКП обычно сохраняются не более 24 ч с момента возникновения пожара, так как вытесняются сервисными сообщениями, связанными с неисправностью или восстановлением элементов системы после пожара.

По возможности следует вскрыть ППКП и провести внутренний осмотр, особо обращая внимание на клеммы подключения линий связи (шлейфов пожарной сигнализации).

В обязательном порядке необходимо оценить возможность обеспечения бесперебойного питания от основного и резервного источника питания, в том числе состояние линий связи.

Важно понимать, что от параметров исследуемой линии связи зависит обеспечение взаимодействия между элементами системы, в том числе при возникновении и развитии пожара [4, 5].

Исследование линии связи необходимо начинать с ее осмотра по всей длине. При этом следует обращать внимание на правильность монтажа соединительных проводов, на тип, марку, сечение жил кабельных изделий, способ крепления и прокладки кабельной линии, количество извещателей в линии связи, количество и правильность подключения других элементов (оконечных устройств, изоляторов короткого замыкания, выносных устройств оптической сигнализации, адресных модулей и т.п.), места обрывов, механических, термических повреждений линий связи, а также места несоответствия участков линий связи требованиям проектной документации [2].

Особое внимание должно быть уделено ИП. Осмотру должны подвергаться как сгоревшие, так и уцелевшие после пожара ИП [2].

При осмотре следует обратить внимание на тип, марку примененных ИП, схему их включения в линию связи, на наличие дополнительных элементов, которые должны подключаться к извещателю в соответствии с его схемой включения для обеспечения его функционирования, механические повреждения.

Стоит обратить внимание на объемно-планировочные, архитектурные, конструктивные решения объекта защиты, которые могли оказать влияние на возможность обнаружения контролируемого ИП информационного фактора пожара, а также влияние инженерных систем объекта, например, общеобменной вентиляции и электромагнитных полей силовой части электрооборудования.

Как известно, выбор типа ИП следует проводить на основе характеристик преобладающей горючей нагрузки и преобладающего фактора пожара на его начальной стадии [6], а также с учетом исключения их ложного срабатывания. Поэтому необходимо установить вид пожарной нагрузки в защищаемых помещениях и сформировать вывод о способности ИП, располагающихся на исследуемом участке, в случае возникновения пожара обнаружить его на начальной стадии.

В ходе осмотра извещателей внутри них или снаружи могут быть обнаружены посторонние предметы (штукатурка, краска и т.п.). Их наличие позволяет предположить, что извещатель находился в неисправном состоянии [2].

При условии, что ИП не были уничтожены или повреждены во время пожара, провести, если возможно, их функциональную проверку. Методика проведения и результаты функциональной проверки также фиксируются в протоколе осмотра.

Функциональной проверке могут быть подвергнуты и другие отдельные элементы СПС, которые не были уничтожены или повреждены во время пожара, при условии, что СПС обеспечена внешними ресурсами для выполнения своих функций (электроэнергия) и сохраняет частично работоспособное состояние, несмотря на уничтоженные огнем элементы.

При функциональной проверке линии связи с ИП производится имитация нарушения исправности линий связи между ППКП и ИП (для проводных – имитацией обрыва и короткого замыкания, для оптико-волоконных и цифровых линий связи – имитацией пропадания связи, для радиоканальных – нарушение связи в рабочем диапазоне частот) при помощи вспомогательных средств.

При этом если на ППКП индицируется режим «Неисправность» по исследуемому направлению с включением световой и звуковой сигнализации о возникшей неисправности, отображением информации о неисправной линии связи или адресе ИП, необходимо сопоставить адрес исследуемой линии связи (адрес ИП) с проектной документацией и ведомостью шлейфов пожарной сигнализации.

При отсутствии сигнала «Неисправность» на ППКП следует, что прибор не обеспечивает контроль исправности линии связи по всей длине. Это может указывать на неисправность ППКП, не обеспечивающую данную функцию по контролю, а также на то, что выполнено отключение линии связи путем установки дополнительных блокирующих элементов или программным способом, то есть прием сигналов от ИП по проверяемой линии связи невозможен.

При функциональной проверке ИП должна быть подтверждена возможность ИП сформировать сигнал тревоги и передать его на ППКП. При помощи применяемых для контроля функционирования ИП инструментов выборочно осуществляется воздействие на автоматические ИП, приводящее к их срабатыванию. При этом контролируется: включение оптического индикатора извещателя либо выносного устройства оптической индикации; включение на ППКП световой индикации и звуковой сигнализации о пожаре, а также выдача идентификационной информации (адреса извещателя, зоны контроля, номер шлейфа пожарной сигнализации). Вместе с этим необходимо сопоставить адрес ИП (адрес шлейфа пожарной сигнализации), его фактическое местоположение с проектной документацией и ведомостью шлейфов пожарной сигнализации, то есть определить соответствие исследуемого извещателя защищаемому помещению или зоне.

В рамках проведения функциональной проверки ИП может быть проверено выполнение функций по формированию СПС при автоматическом обнаружении пожара, управляющих сигналов на технические средства систем противопожарной защиты и инженерные системы объекта, а также дублирование (если предусмотрено) светового и звукового сигналов о возникновении пожара на пульт подразделения пожарной охраны.

При функциональной проверке источников электропитания технических средств СПС необходимо отключить СПС от основного источника питания, при этом должно произойти

автоматическое переключение электропитания с основного источника на резервный с включением соответствующей индикации без выдачи ложных сигналов и сохранением состояния СПС, в котором она выполняет свои функции. Если автоматического переключения электропитания с основного источника на резервный не произошло, или технические средства СПС отключились, в том числе из-за возможного разряда аккумуляторных батарей, это может указывать на неспособность выполнить свои функции СПС при возникновении пожара, если по каким-либо причинам основной источник питания был отключен или неисправен.

В процессе эксплуатации на приемно-контрольном оборудовании ведется электронный журнал событий, в котором записывается информация о типе события, его дате, времени, адресе устройства [7]. Все события фиксируются в энергонезависимой памяти и могут быть прочитаны с помощью клавиатуры и дисплея, расположенных на лицевой стороне прибора, а также посредством подключения персонального компьютера или принтера для распечатки информации.

При анализе проектной, рабочей, исполнительной документации необходимо проверить обоснованность инженерных решений, отраженных в проектной документации, для возможности своевременно обнаружить пожар и передачи в заданном виде сигналов о пожаре, формирования сигналов управления, соответствие требованиям нормативных документов и нормативных правовых актов Российской Федерации по пожарной безопасности.

Необходимо сравнить проектные решения по устройству технических средств СПС с фактическими (для этих целей предпочтительно использовать исполнительную документацию): трассировку линий связи; примененный тип ИП и их местоположение, выделение групп ИП в отдельные зоны контроля пожарной сигнализации, алгоритм работы системы, условия эксплуатации технических средств.

Требуется установить нарушения проектных решений, которые могли привести к снижению эффективности обнаружения пожара в процессе эксплуатации, в том числе в результате изменений объемно-планировочных решений объекта защиты.

Результатом анализа эксплуатационной документации СПС объекта защиты должен быть вывод о возможных имеющихся неисправностях или режимах эксплуатации системы, которые могли привести к снижению эффективности обнаружения пожара.

При анализе классификационных характеристик, объемно-планировочных, архитектурных, конструктивных решений объекта изучаются факторы, которые могли привести к снижению эффективности обнаружения пожара. Например, из-за выступающих балок перекрытия может снижаться площадь, контролируемая дымовым ИП. Строительные конструкции, конструкции инженерных систем, воздушные потоки систем общеобменной вентиляции могут препятствовать обнаружению чувствительными элементами ИП соответствующих факторов пожара. Также учитывается влияние технологических процессов объекта защиты (наличие пожароопасных, взрывоопасных зон), типа пожарной нагрузки и ее размещения.

Опрос очевидцев пожара (протокол допроса) производится с необходимостью установления:

- условий и времени обнаружения пожара (места очага пожара);
- способа и времени сообщения о пожаре в пожарную охрану;
- сведения о работе технических средств СПС с временными характеристиками;
- сведения об особенностях распространения пожара.

При анализе сведений, полученных от лиц дежурного персонала объекта защиты, необходимо проанализировать соответствие их действий инструкции о порядке действий при получении сигналов о пожаре и неисправности установок (систем) противопожарной защиты объекта защиты, с тем чтобы убедиться в адекватности реакции и алгоритма действий сотрудников объекта защиты при получении указанных сигналов.

В обязательном порядке необходимо запросить объяснения (протоколы допросов) следующих лиц:

1. Дежурного оператора, находившегося в помещении пожарного поста объекта на момент возникновения пожара, с постановкой ему вопросов, касающихся работы комплекса инженерных систем, в том числе технических средств системы противопожарной защиты объекта при возникновении пожара: сведений о получении на приемно-контрольное оборудование СПС сигналов о возникновении пожара, включении системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, неисправности технических средств и др. (с хронологией событий); сведений о действиях дежурного оператора объекта при получении указанных сигналов и указаний сотрудников объекта (с хронологией событий); сведений о поступлении ему указаний должностных лиц объекта, связанных с возникновением пожара; сведений о нахождении технических средств пожарной автоматики в автоматическом, ручном, режимах управления, об их работоспособном (не работоспособном), отключенном (не отключенном) состоянии непосредственно перед возникновением пожара.

2. Сотрудников инженерных служб объекта защиты, а также сотрудников обслуживающей организации, с постановкой им вопросов, касающихся наличия и исправности СПС, порядка и качества выполнения ее обслуживания, соответствия ее требованиям нормативных документов и положений проектной документации, а также функционирования в момент возникновения и развития пожара.

На пожарах нередко случаи проведения фото- и видеосъемки очевидцами пожара, а также когда внутри объектов защиты имеется система видеонаблюдения, фиксирующая внутреннюю обстановку (события, вещная обстановка, действия персонала и посетителей объекта, точное место расположения очага пожара). Указанные данные могут позволить оценить эффективность работы СПС по обнаружению пожара.

Определение параметров развития пожара с учетом работы систем противопожарной защиты, получение расчетной оценки эффективности работы применяемых средств противопожарной защиты может быть выполнено посредством создания математической модели развития пожара на конкретном объекте и внесении элемента системы противопожарной защиты (ИП) в расчетную среду [8].

Математическая модель в обязательном порядке должна учитывать специфику объекта исследования.

Для расчетной оценки выполнения СПС своих функций может использоваться полевое моделирование. Для этих целей может быть использована компьютерная программа FDS в оболочке PyroSim [9], которая содержит встроенные модели отклика (срабатывания) ИП, основанные на экспериментальных и численных исследованиях.

Для этих целей возможно использование пособия [8], в котором изложены критерии оценки эффективности работы систем противопожарной защиты с использованием полевого моделирования, основные допущения и приближения полевого моделирования пожара, область применения оценки, представлен алгоритм проведения моделирования, приведены примеры моделирования на конкретных объектах.

В соответствии с данными, полученными в ходе проведения визуального осмотра СПС на объекте защиты, информацией, содержащейся в проектной и исполнительной документации, в математической модели расставляются ИП (регистраторы), вентиляционные отверстия, задаются параметры воздухообмена. Выбор математических моделей извещателей должен соответствовать его типу и характеристикам.

В результате моделирования развития пожара могут быть получены значения времени срабатывания ИП, учитывая данные об очаге возникновения пожара, данные о пожарной нагрузке, общеобменной вентиляции и других данных, характеризующих объект защиты. Также возможно и решение обратной задачи для нужд экспертного исследования по установлению места очага пожара и параметров его развития.

Знание параметров распространения пожара позволяет ориентировочно определить временной интервал от его возникновения до достижения им размера при его обнаружении [10].

Вместе с тем при определении ориентировочного времени возникновения пожара необходимо понимать, что ИП могут располагаться в «мертвых зонах» или в местах, где системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха создают воздушные потоки, которые могут влиять на возможность обнаружения пожара. При данных условиях обнаружение пожара может стать возможным только при его значительном развитии, что, в свою очередь, может исказить результаты анализа его временных характеристик.

Отмечается, что зарубежный опыт использования компьютерного моделирования [11] уже предполагает, что входные и выходные файлы компьютерных моделей должны сохраняться в их первоначальном виде как часть процедуры расследования пожара. При этом файлы должны предоставляться в электронном виде в их оригинальной форме, чтобы их можно было использовать и просматривать с помощью программного обеспечения, предназначенного для этой цели. Изучение результатов моделирования сторонами дела по расследованию пожара не должна быть ограничена.

### Заключение

Своевременный сбор и фиксация данных на месте пожара, касающихся работы системы пожарной сигнализации, установленной на объекте защиты, а также последующий анализ работоспособности, эффективности способствуют качественному решению задач по установлению динамики и особенностей развития горения, установлению места первоначального его возникновения (очага пожара) и его технической причины.

### Список источников

1. Организация работы судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по исследованию пожаров и экспертному сопровождению деятельности органов государственного пожарного надзора: метод. рекомендации / С.П. Воронов [и др.]. М.: ВНИИПО, 2009. 28 с.

2. Осмотр места пожара: метод. пособие / И.Д. Чешко [и др.]. М.: ВНИИПО, 2004. 503 с.

3. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации (с изм. на 21 мая 2021 г.): постановление Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (дата обращения: 29.04.2022).

4. ГОСТ Р 59638–2021. Системы пожарной сигнализации. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180685> (дата обращения: 29.04.2022).

5. Справочник инженерно-технических работников и электромонтеров технических средств охранно-пожарной сигнализации (утв. ГУВО МВД России 24 дек. 1996 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085938> (дата обращения: 29.04.2022).

6. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566249686> (дата обращения: 29.04.2022).

7. ГОСТ Р 53325–2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний (с изм. № 1, 2, 3). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (дата обращения: 29.04.2022).

8. Применение полевого моделирования для оценки эффективности работы систем противопожарной защиты: метод. пособие / С.Ф. Лобова [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 69 с.

9. Руководство пользователя PyroSim 2021.4 // Официальный сайт PyroSim. URL: <http://pyrosim.ru/> (дата обращения: 29.04.2022).

10. Robert W. Fitzgerald, Brian J. Meacham. Fire performance analysis for buildings. MA, USA: Worcester polytechnic institute, 2017.
11. NFPA 921. Guide for fire and explosion investigations (2021 г.). URL: <https://www.nfpa.org/> (дата обращения: 29.04.2022).

### References

1. Organizaciya raboty sudebno-ekspertnyh uchrezhdenij federal'noj protivopozharnoj sluzhby «Ispytatel'naya pozharnaya laboratoriya» po issledovaniyu pozharov i ekspertnomu soprovozhdeniyu deyatel'nosti organov gosudarstvennogo pozharnogo nadzora: metod. rekomendacii / S.P. Voronov [i dr.]. M.: VNIPO, 2009. 28 s.
2. Osmotr mesta pozhara: metod. posobie / I.D. Cheshko [i dr.]. M.: VNIPO, 2004. 503 s.
3. Ob utverzhdenii Pravil protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii (s izm. na 21 maya 2021 g.): postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 16 sent. 2020 g. № 1479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297> (data obrashcheniya: 29.04.2022).
4. GOST R 59638–2021. Sistemy pozharnoj signalizacii. Rukovodstvo po proektirovaniyu, montazhu, tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu. Metody ispytanij na rabotosposobnost'. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180685> (data obrashcheniya: 29.04.2022).
5. Spravochnik inzhenerno-tekhnicheskikh rabotnikov i elektromonterov tekhnicheskikh sredstv ohranno-pozharnoj signalizacii (utv. GUVU MVD Rossii 24 dek. 1996 g.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085938> (data obrashcheniya: 29.04.2022).
6. SP 484.1311500.2020. Sistemy protivopozharnoj zashchity. Sistemy pozharnoj signalizacii i avtomatizaciya sistem protivopozharnoj zashchity. Normy i pravila proektirovaniya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566249686> (data obrashcheniya: 29.04.2022).
7. GOST R 53325–2012. Tekhnika pozharnaya. Tekhnicheskie sredstva pozharnoj avtomatiki. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytanij (s izm. № 1, 2, 3). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (data obrashcheniya: 29.04.2022).
8. Primenenie polevogo modelirovaniya dlya ocenki effektivnosti raboty sistem protivopozharnoj zashchity: metod. posobie / S.F. Lobova [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 69 s.
9. Rukovodstvo pol'zovatelya PyroSim 2021.4 // Oficial'nyj sayt PyroSim. URL: <http://pyrosim.ru/> (data obrashcheniya: 29.04.2022).
10. Robert W. Fitzgerald, Brian J. Meacham. Fire performance analysis for buildings. MA, USA: Worcester polytechnic institute, 2017.
11. NFPA 921. Guide for fire and explosion investigations (2021 г.). URL: <https://www.nfpa.org/> (data obrashcheniya: 29.04.2022).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 26.12.2022; одобрена после рецензирования: 30.01.2023;  
принята к публикации: 03.02.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 26.12.2022; approved after review: 30.01.2023;  
accepted for publication: 03.02.2023

*Информация об авторах:*

**Богущий Сергей Юрьевич**, начальник сектора судебных экспертиз Судебно-экспертного учреждения федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по г. Санкт-Петербургу (197046, Санкт-Петербург, ул. Пеньковская, д. 6), e-mail: [ipl-spb@mail.ru](mailto:ipl-spb@mail.ru)

**Шидловский Григорий Леонидович**, начальник кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [shidlovsky.g@igps.ru](mailto:shidlovsky.g@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7082-7597>

**Иванов Анатолий Николаевич**, доцент кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [iv.52@mail.ru](mailto:iv.52@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4149-6279>

*Information about authors:*

**Bogutsky Sergey Yu.**, head of the forensic expertise sector of the Forensic expert institution of the federal fire service «Test fire laboratory» in the city of Saint-Petersburg (197046, Saint-Petersburg, Penkova str., 6), e-mail: [ipl-spb@mail.ru](mailto:ipl-spb@mail.ru)

**Shidlovsky Grigory L.**, head 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), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [shidlovsky.g@igps.ru](mailto:shidlovsky.g@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7082-7597>

**Ivanov Anatoly N.**, associate 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), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [iv.52@mail.ru](mailto:iv.52@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4149-6279>

Научная статья  
УДК 614.84:644.6

## **ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВЗРЫВОВ ГАЗА В ЖИЛЫХ ДОМАХ**

**Потапова Юлия Сергеевна;**

✉ **Колесников Евгений Юрьевич.**

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Россия.**

**Захматов Владимир Дмитриевич.**

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

✉ *e.konik@list.ru*

*Аннотация.* Рассматривается актуальная не только для России, но и для многих других стран проблема взрывов газа в жилых домах и социальных объектах. Приводится удручающая статистика подобных чрезвычайных событий, анализируются их причины. Описываются законодательные инициативы, направленные на решение данной проблемы. В статье показано, что существует несколько вариантов технических решений, цель которых заключается в минимизации пожарного риска обоих его компонентов: как в возможности (вероятности) возникновения подобных взрывов, так и в уменьшении величины возможного ущерба. Вероятность взрыва может быть сведена к минимуму установкой газоанализаторов с соответствующими автоматическими запорными устройствами (либо в каждой квартире, либо – по одному на каждый газовый стояк). Уменьшение тяжести последствий взрывов газа для строительных конструкций дома способно обеспечить использование окон во взрывобезопасном исполнении. Авторы описывают несколько конструкций окон подобного назначения. Очевидно, что описанная проблема ввиду ее высокой социальной значимости требует принятия срочных решений на государственном уровне.

*Ключевые слова:* газификация жилого сектора, взрывы газа, газоанализатор, взрывобезопасные окна

**Для цитирования:** Потапова Ю.С., Колесников Е.Ю., Захматов В.Д. Пути решения проблемы взрывов газа в жилых домах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 27–37.

Scientific article

## **WAYS TO SOLVE THE PROBLEM OF GAS EXPLOSIONS IN RESIDENTIAL HOUSES**

**Potapova Yulia S.;**

✉ **Kolesnikov Eugeny Yu.**

**Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia.**

**Zakhmatov Vladimir D.**

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

✉ *e.konik@list.ru*

*Abstract.* The article deals with the problem of gas explosions in residential buildings and social facilities, which is relevant not only for Russia, but also for many other countries. Depressing statistics of such extraordinary events are given, their causes are analyzed. Legislative initiatives aimed at solving this problem are described. The article shows that there are several variants of technical solutions, the purpose of which is to minimize the fire risk, both of its components: both the possibility (probability) of such explosions, and to reduce the magnitude of possible damage. The probability of an explosion can be minimized by installing gas analyzers with

appropriate automatic shut-off devices (either in each apartment, or – one for each gas riser). Reducing the severity of the consequences of gas explosions for the building structures of the house can ensure the use of windows in explosion-proof design. The authors describe several designs of windows for this purpose. It is obvious that the described problem, due to its high social significance, requires urgent decisions at the state level.

*Keywords:* gasification of the residential sector, gas explosions, gas analyzer, explosion-proof windows

**For citation:** Potapova Yu.S., Kolesnikov E.Yu., Zakhmatov V.D. Ways to solve the problem of gas explosions in residential houses // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 27–37.

## Введение

В современных условиях природный газ и пропан-бутановая смесь широко используются как для отопления, так и для приготовления пищи в жилых домах и социальных объектах Российской Федерации. Это обусловлено тем, что, во-первых, стоимость отопления за счет газа дешевле электрического примерно в 10 раз [1], а, во-вторых, данный вид топлива является наиболее экологичным.

Одновременно взрывы и пожары, связанные с неправильной эксплуатацией газовых плит, ошибками их подключения к источнику газа, недостаточным контролем за состоянием систем газоснабжения, использованием устаревшего оборудования и иными причинами, происходят в России едва ли не ежемесячно, унося человеческие жизни и вызывая разрушения зданий. По своим последствиям и частоте эти чрезвычайные ситуации относятся к разряду наиболее опасных.

Как будет показано ниже, названная проблема актуальна не только для нашей страны, поэтому для определения точных причин подобных аварий с целью их недопущения в настоящее время во всем мире совершенствуются методы их расследования с привлечением современных информационных технологий [2].

Цель настоящей статьи заключается в анализе основных причин взрывов газа в жилых домах и социальных объектах на территории Российской Федерации, исследовании предложенных технических решений для их профилактики и обосновании наиболее приемлемых среди них.

К сожалению, единая официальная статистика, содержащая перечень подобных аварий, происшедших на территории России, анализ их причин, описание последствий и принятых впоследствии мер, на сегодняшний день отсутствует. Тем не менее некоторую информацию о них можно найти в различных открытых интернет-источниках. Между тем ни МЧС России, ни Росстат не публикуют статистических данных по многим показателям аварий, относящимся именно к жилому сектору, в частности о причинах взрывов газа.

## Материалы и методы исследования

Актуальность рассматриваемой проблемы подтверждают данные сайта ПАО «Газпром», в разделе «Программа газификации регионов» которого приведены сведения о постоянно возрастающем уровне газификации жилого сектора в России: с 2005 г. в различных субъектах Российской Федерации было построено более 39 тыс. км газопроводов, а за период с 2021 по 2025 г. планируется построить еще 24,4 тыс. км, что в 2,5 раза больше по сравнению с предшествующим пятилетним периодом. Между тем возрастающий уровень газификации сопровождается увеличением риска аварий, связанных со взрывами бытового газа [3].

Данная статья посвящена постановке проблемы и возможным способам ее решения. Предлагаемые в ней технические решения основаны на сравнительном анализе литературных источников, в том числе патентного поиска.

**1. Взрывы газа в жилых домах и социальных объектах – описание и причины.**

С целью выявления типичных причин и последствий взрывов газа в жилых домах рассмотрим наиболее масштабные по последствиям взрывы газа в жилом секторе, происшедшие на территории России за последние девять лет. Они перечислены в таблице [4].

Таблица

**Наиболее масштабные аварии со взрывом газа в жилых домах на территории Российской Федерации в период с 2014 по 2022 г.**

Дата	Город	Описание аварии
03.11.2014	Орджоникидзевский район, г. Пермь	При взрыве обрушилась часть трехэтажного жилого дома, погиб один человек, 10 получили травмы, дом оказался в аварийном состоянии и позже был снесен
29.10.2015	Хабаровский край, пос. Корфовский	В результате взрыва бытового газа в жилом доме обрушился один из подъездов. Погибли шесть человек, трое пострадали. Предположительно, взрыв произошел по вине мужчины, который страдал токсикоманией и вдыхал газ из системы газоснабжения дома
20.12.2015	г. Волгоград	В результате взрыва бытового газа на седьмом этаже дома погибли четыре человека, еще 11 пострадали. Была обрушена одна из несущих стен, пришлось эвакуировать более 80 чел., в итоге дом был снесен
16.02.2016	г. Ярославль	В результате взрыва обрушились пять этажей одного из подъездов. Погибли семь человек, здание впоследствии было снесено
23.10.2016	г. Рязань	Из-за взрыва газа погибли семь человек, 16 получили ранения, оказались полностью разрушенными 14 квартир, однако впоследствии дом был восстановлен
11.01.2017	г. Саратов	Произошел взрыв бытового газа в шестиэтажном жилом доме. Один человек погиб, еще восемь получили ранения разной степени тяжести. Обрушились перекрытия между первым и четвертым этажами; на этажах с третьего по пятый возник пожар. По данным следственного комитета, взрыв был вызван самовольной установкой в одной из квартир газовой плиты
09.04.2017	г. Таганрог	При взрыве бытового газа погибли два человека, была разрушена внешняя стена здания
16.05.2017	г. Волгоград	При взрыве в четырехэтажном доме произошло обрушение подъезда. В результате погибли четыре человека, ранения получили еще 11 чел. Авария произошла из-за повреждения рабочими газовой трубы
17.07.2018	г. Ростов-на-Дону	В результате взрыва с возгоранием на пятом этаже десятиэтажного дома один человек погиб, повреждения получили семь квартир и фасад дома. Было установлено, что плита в квартире не была присоединена к газовой трубе

Дата	Город	Описание аварии
07.11.2018	Смоленская обл.	Произошел взрыв газовоздушной смеси в девятиэтажном жилом доме, 16 квартир были повреждены, данных о погибших нет
31.12.2018	г. Магнитогорск	Из-за взрыва газа частично обрушился 10-этажный жилой дом, погибло 39 чел., 17 получили ранения
14.01.2019	г. Шахты	Полностью разрушены два верхних этажа, погибли пять человек
31.07.2019	Тюменская обл., пос. Боровский	В результате взрыва газа в частном доме погибли два человека, дом был разрушен, но соседние дома не пострадали
26.03.2020	г. Магнитогорск	Произошел взрыв газовоздушной смеси в квартире на втором этаже жилого дома, в результате два человека погибли, еще двое пострадали, в здании был пожар, но серьезных повреждений конструкциям не нанесено
21.08.2020	г. Ярославль	Из-за взрыва бытового газа в доме обрушились перекрытия с первого по шестой этаж и внешняя стена здания с пятого по третий этаж, погибли три человека, четверо получили ранения. Дом впоследствии был восстановлен
19.03.2021	г. Химки	В результате взрыва газовоздушной смеси обрушились перекрытия между восьмым и девятым этажами, были разрушены несколько балконов, погибли четыре человека, еще четверо были госпитализированы с травмами
08.09.2021	г. Ногинск	В результате взрыва газа повреждены перекрытия в доме, обрушена часть внешней стены, повреждены 30 квартир
28.09.2021	г. Махачкала	В пристройке к частному жилому дома произошел взрыв газа, пострадали пять человек
11.04.2022	Московская обл., г. Ступино	После взрыва газа и последующего пожара были разрушены конструкции на последних двух этажах здания, повреждены 13 квартир, разрушено 4. Погибли шесть человек, 20 получили ранения
04.12.2022	г. Нижневартовск	Вследствие взрыва газа обрушилось несколько этажей, шесть человек погибли, 15 пострадали в результате частичного обрушения здания, перекрытия которого рухнули, завалив обломками строительных конструкций квартиры с третьего по первый этаж
05.12.2022	г. Ярославль	В результате взрыва владелец квартиры госпитализирован, а также эвакуированы 28 жильцов трехэтажного дома. Взрывной волной выбило балкон, обрушило часть крыши и стену внутри квартиры

Анализ таблицы показывает, что из всех описанных в ней аварий лишь в одном случае не было погибших, в 17 случаях последствия взрыва включали частичные или полные обрушения этажей, внешних стен или иных несущих конструкций. Очевидно, что ответственность за взрывы бытового газа, наряду с жильцами, ложится и на газоснабжающие организации, в обязанности которых входит контроль и содержание в исправном состоянии используемого в квартирах газового оборудования. Однако приведенная статистика показывает, что существующий подход не обеспечивает должный уровень безопасности потребления газа в быту.

Трагические события, произошедшие в г. Магнитогорске 31 декабря 2018 г., накануне празднования Нового года, вызвали широкий отклик в средствах массовой информации. Тем не менее никаких действий, направленных на предотвращение подобных аварий, предпринято не было. Официально не было сообщено о причинах взрыва газа. Даже сейчас по прошествии четырех лет после тех трагических событий в Государственную Думу только еще планируется внести законопроект об обязательной установке газоанализаторов в квартирах многоквартирных домов, которую планируется осуществлять в порядке очереди. Согласно законопроекту ответственность за их установку будет возложена на газораспределительные компании.

На сайте Государственной Думы Российской Федерации приводится следующая предварительная стоимость этих мероприятий [5]:

а) за газоанализатор с установкой – примерно 3,5 тыс. руб.;

б) газоанализатор и электромагнитный клапан с установкой – 5,5 тыс. руб.

Был и другой нереализованный проект – ровно десять лет назад, еще в 2012 г., был утвержден план, согласно которому предполагалось разработать Федеральный закон о безопасности домашнего газового оборудования [6].

Следует отметить, что рассматриваемая проблема актуальна не только для России, но и для многих других стран [7, 8]. Можно привести следующие примеры:

– 6 августа 2013 г. в г. Росарио (Аргентина) произошел взрыв газа в жилом доме, предположительно причиной аварии стали ошибочные действия газовщика. В результате погибло 13 чел. и более 50 получили ранения;

– 12 июля 2014 г. в г. Стамбуле произошел взрыв в подвале жилого дома, пострадали восемь человек, взрывом выбиты стекла в нескольких соседних зданиях;

– 14 июня 2020 г. в г. Минске в квартире на первом этаже произошла утечка газа и взрыв. Трое человек получили серьезные ожоги, был нанесен ущерб соседним квартирам, но здание не разрушено;

– 31 декабря 2020 г. в г. Риге произошла утечка газа в квартире с последующим взрывом и пожаром. В результате были разрушены второй и третий этажи здания и частично крыша, сообщалось об одном погибшем и шести раненых;

– 20 января 2021 г. в г. Мадриде произошел взрыв газа в жилом здании. В результате этого взрыва погибло четыре человека, 10 получили серьезные ранения, также были частично разрушены близлежащие здания, школа и дом престарелых, но в них никто не пострадал;

– 13 августа 2021 г. в г. Тарту (Эстония) в жилом здании произошел взрыв газа, в результате пострадали девять человек, были разбиты окна в данном и соседних зданиях.

Взрывы бытового газа случаются не только в жилых домах, но и в социальных объектах. К таковым относятся школы, больницы. В качестве примера таких аварий можно привести взрыв газа в школе г. Миннеаполиса 2 августа 2017 г. Тогда было частично разрушено здание, погибло два человека, трое получили серьезные ранения. Отмечается, что последствия этого взрыва могли быть намного серьезнее, поскольку авария произошла во время летних каникул, когда в здании находились всего несколько работников, в том время как в учебное время количество людей там достигает 800 чел.

– 1 января 2018 г. взорвался газовый баллон в больнице г. Атток (Пакистан). Погибли шесть человек, еще 10 получили ранения, также пострадало здание больницы, оно было частично разрушено;

– 12 января 2019 г. произошла утечка газа и взрыв в торговом помещении в г. Париже, в результате взрыва были разбиты окна в соседних зданиях, погибли три человека. Здание практически полностью сгорело.

Результатом подобных аварий почти всегда становится гибель и травмирование людей, частичное или полное разрушение зданий, они сопровождаются значительным финансовым ущербом, заключающимся в расходах на восстановление зданий, переселение граждан в новое жилье, компенсационные выплаты пострадавшим.

В качестве типичных причин взрыва бытового газа обычно называются пришедшее в негодность газовое оборудование, самостоятельное его подключение к газовой магистрали при отсутствии необходимых знаний и навыков, нарушения правил безопасной эксплуатации газового оборудования.

Еще одной, малоизвестной причиной взрывов газа в жилом секторе являются преднамеренные действия людей. В 2022 г. были опубликованы [9] результаты специального исследования случаев убийств и самоубийств с помощью отравления и намеренного взрыва газа в домовладениях. В его ходе было выяснено, что за период с 2012 по 2021 г. произошло не менее 10 таких случаев, в результате которых погибли 46 чел. Почти во всех таких случаях виновником был человек, страдающий психическими отклонениями и/или алкогольной зависимостью. Отметим, что, помимо профилактических действий психиатров по отношению к подобным индивидуумам, избежать подобных катастроф помогло бы наличие в квартире газоанализатора, который обеспечил бы своевременное перекрытие подачи газа.

## **2. Возможные пути решения проблемы.**

Переходя к рассмотрению способов снижения риска таких аварий, в качестве одного из наиболее эффективных можно назвать тотальную установку в жилых квартирах газовых анализаторов, управляющих электромагнитными клапанами, перекрывающими подачу газа в загазованное помещение. В пользу такого технического решения свидетельствует тот факт, что статистика не приводит случаев взрывов газа в помещениях мини-котельных частных жилых домов, оборудованных бытовыми газовыми котлами, а также в современных многоквартирных домах с поквартирным отоплением газом. Дело в том, что эти помещения изначально оборудованы газовой автоматикой, позволяющей в автоматическом режиме перекрывать подачу газа при обнаружении его концентрации в воздухе, превышающей установленный порог. Данный порог заведомо многократно меньше величины нижнего концентрационного предела топливного газа в воздухе.

Газоанализатор – это устройство, предназначенное для обнаружения в воздухе газа (метана или паров пропан-бутановой смеси). В зависимости от состава газа (пропан-бутановая смесь или природный газ) его датчик размещается у пола или под потолком. Это объясняется тем обстоятельством, что плотность пропан-бутановой смеси больше, чем у воздуха, поэтому при утечке она будет оседать вниз, а метан легче воздуха, поэтому он будет всплывать. Существенный недостаток многих газоанализаторов, работающих от сети и становящихся бесполезными при отключении электроэнергии, должен быть преодолен использованием электропитания от резервных аккумуляторов [10].

По принципу действия имеющиеся на рынке газоанализаторы различаются на химические, тепловые, магнитные и оптические. Независимо от принципа своей работы, они позволяют надежно детектировать утечку газа в квартирах, обнаруживая в воздухе повышенную его концентрацию.

Предлагаемую меру защиты можно реализовать по одной из следующих схем:

1. Устанавливать в каждую квартиру газоанализатор и запорный электромагнитный клапан, который по сигналу газоанализатора будет перекрывать подачу газа.

2. Устанавливать по одному газоанализатору и одному запорному клапану на каждый газовый стояк многоквартирного дома, при этом на кухне каждой квартиры необходимо разместить датчик, соединенный с газоанализатором проводом или с помощью беспроводной технологии.

Совершенно очевидно, что газоанализаторы при обнаружении утечки газа одновременно с перекрытием его подачи должны немедленно оповещать об этом жильцов дома и соответствующие организации.

Каждая из двух схем имеет как свои преимущества, так и недостатки. Очевидно, что установка одного общего газоанализатора и запорного клапана на газовый стояк позволит существенно снизить расходы. При этом газоанализатор сообщит, в какой именно квартире произошла утечка. Однако в данной ситуации возможны проблемы с проникновением в квартиру в случаях, когда в ней никто не проживает, а с ее владельцем не удастся связаться, либо если в квартире находится человек, умышленно запершийся внутри. Установка же системы безопасности в каждой квартире позволит не перекрывать подачу газа соседям, хотя такая система существенно дороже.

Может быть, стоит подумать над тем, чтобы предоставить жильцам право выбирать ту или иную схему.

Оба предлагаемых решения имеют общий недостаток, связанный с тем, что они не предусматривают защиты от возможного образования утечки газа вне жилых квартир.

Аналогичное техническое решение, направленное на предотвращение взрывов газа в социальных (многоквартирных) жилых домах – постоянный мониторинг воздушной среды, описывают авторы [11].

В 2020 г. была опубликована статья [12], посвященная автоматизированной системе контроля утечек газа с использованием беспроводной технологии. Это новый подход к обеспечению пожарной безопасности в быту, заключающийся в том, что в одном устройстве предлагается объединить электронный счетчик учета газа, устройство управления, анализирующее сигналы датчиков (утечки газа и пожарного – реагирующего на повышенную температуру и задымление в помещении). При получении сигнала хотя бы от одного из датчиков устройство заблокирует подачу газа в помещение, пошлет сигнал на заданный номер телефона, а также на пульт дежурного оператора, у которого появится информация об утечке газа или пожаре с геолокацией.

Наряду с основным, профилактическим, направлением снижения риска взрывов газа, заключающемся в мерах по недопущению его утечек, не следует забывать и о другом важном направлении – обеспечении взрывобезопасности помещений жилых домов – применении мер, направленных на снижение последствий подобных аварий. Эффективной мерой этого направления является установка взрывобезопасных окон. Например, изготовление современных пластиковых окон в виде вращающейся предохранительной конструкции на шарнирах [13]. Как известно, объемный взрыв газовой смеси сопровождается быстрым нарастанием давления в помещении. Предложение заключается в том, что при достижении давлением определенной величины происходит поворот этой конструкции, в результате чего вскрывается проем, через который избыточное давление взрыва сбрасывается. Однако широкому использованию таких конструкций в жилых домах на территории России в настоящее время препятствует серьезный недостаток, обусловленный их недостаточной герметичностью, и, как следствие, слабой шумо- и термоизоляцией.

Между тем имеется и альтернативное техническое решение – еще в 2010 г. был выдан российский патент на конструкцию взрывозащищенного пластикового окна [14]. Оно содержит несущую и сбрасываемую рамы, а также предохранительные элементы (магнит, катушку с сердечником и источник питания). В нормальных условиях сбрасываемая рама крепится к несущей с помощью постоянного магнита. При превышении давлением воздуха в помещении (в результате взрыва газовой смеси) установленной величины, обнаруживаемое датчиком давления, по команде управляющего устройства создается магнитное поле, направленное

противоположно полю магнита, которое выталкивает сбрасываемую раму, вскрывая проем. К сожалению, описанный патент пока не нашел своего внедрения.

Обычные пластиковые окна сконструированы таким образом, чтобы обеспечить максимальную термо-, влаго-, звукоизоляцию. Метод их крепления к несущим конструкциям здания (стенам) таков, что они обладают повышенной прочностью, в результате (как можно видеть по фотографиям зданий, пострадавших от взрывов газа) зачастую давление взрыва вместо оконных переплетов выдавливает наружную стену кухни или межэтажное перекрытие.

Между тем окна прежней конструкции (с деревянными рамами) не были подвержены такой проблеме, поскольку стекла в них прикреплялись к раме на деревянные штапики мелкими гвоздями, что позволяло уже небольшому избыточному давлению (не более 5 кПа) выбивать стекла из рамы и вскрывать проем. Однако в наши дни такие окна повсеместно заменяют на пластиковые, из-за чего значительно возрастают последствия аварий [15], связанных с утечками и взрывами газа в квартирах многоквартирных домов.

Для наглядности ниже представлены два изображения пострадавших от взрыва газа жилых домов: в г. Магнитогорске (рис. 1) – обычные пластиковые окна и, как следствие, полное разрушение стен и крыши и в г. Мадриде (рис. 2) – окна, выполненные в соответствии с требованиями взрывобезопасности.



Рис. 1. Разрушенный многоквартирный дом в г. Магнитогорске, 2018 г.



Рис. 2. Дом после взрыва в г. Мадриде, 2016 г.

## Заключение

Вышесказанное позволяет сделать вывод, что, несмотря на то, что на сегодняшний день газифицированные дома составляют лишь 27 % от всего жилого фонда Российской Федерации [16], поставленная проблема становится все более актуальной. Некоторые возможные способы ее решения рассмотрены в данной статье, проанализированы их достоинства и недостатки, обоснованы наиболее оптимальные из них с экономической точки зрения и имеющие наилучшие перспективы практического использования.

Несомненно, рассмотренная в статье проблема из-за своей остроты требует неотложных мер. По-видимому, для ее кардинального решения требуется принятие соответствующих поправок в Федеральный закон от 31 марта 1999 г. № 69-ФЗ «О газоснабжении в Российской Федерации», в котором был бы определен организационный механизм оборудования газифицированных жилых помещений и социальных объектов средствами автоматики, определены источник финансирования и сроки выполнения этих работ.

### Список источников

1. Problems of safety of gas systems in the places of residence of agricultural workers / D.V. Belomutenko [et al.] // IOP Conf. Series: Earth and environmental science 965. 2022.
2. Traceability and failure consequences of natural gas explosion accidents based on key investigation technology / Hu Qianran [et al.] // Engineering failure analysis. 2022. Vol. 139 (5): 106448. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2022.106448.
3. Газификация регионов России // ГАЗПРОМ межрегионгаз.  
URL: <https://mrg.gazprom.ru/about/gasification/> (дата обращения: 28.11.2022).
4. Хронология взрывов бытового газа в жилых домах в России.  
URL: <https://news.rambler.ru/incidents/47167110-hronologiya-vzryvov-bytovogo-gaza-v-zhilyh-domah-v-rossii/> (дата обращения: 04.12.2022).
5. Государственная Дума РФ. Во всех квартирах с газом хотят установить сигнализаторы утечек. URL: <http://cmokhv.ru/news/2022-09-08-news20220907/> (дата обращения: 04.12.2022).
6. Назаров В.П., Ашихмин А.В., Коротовских Я.В. Анализ статистики пожаров и взрывов газифицированных зданий в России // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 1 (71). С. 1–5.
7. Взрывы бытового газа в жилых домах в Европе в 2020–2021 годах // РИА новости. URL: <https://ria.ru/20210120/vzryvy-1593909686.html> (дата обращения: 28.11.2022).
8. Взрывы бытового газа в мире в 2018–2019 годах // РИА новости. URL: <https://ria.ru/20190112/1549272056.html> (дата обращения: 28.11.2022).
9. Взрыв бытового газа как способ убийств и самоубийств, совершенных лицами с психическими расстройствами: серия случаев в регионах России (2012–2021 гг.) / Ф.В. Орлов [и др.] // Суицидология. 2022. № 1 (46). С. 45–58.
10. Multi-sensor leakage detector robot for nuclear radiation and chemicals / A. Alkandari [et al.] // Journal of computational and theoretical nanoscience. 2019. № 16 (3). P. 1134–1137.
11. Implementing an integrated meter and sensor system (IMSS) in existing social housing stock / A. Shukla [et al.] // Energy and buildings. 2019. Vol. 182. P. 274–286.
12. Важаев К.В., Ураксеев М.А., Мартяшева В.А. Автоматизированная многофункциональная система контроля утечки газа с использованием беспроводной технологии // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2020. № 1. С. 93–105.
13. Обеспечение взрывобезопасности жилых домов / В.В. Тимохин [и др.] // Пожары и ЧС. 2021. № 3. С. 69–74.
14. Взрывобезопасное окно: пат. № 97762 U1 Рос. Федерация: МПК E06B 7/00 (2006.01), B06B 7/00 (2006.01) / Игнатов М.А. № 2010120267/03; заявл. 21.02.10; опубл. 20.09.10.

15. Chmielewski R., Bąk A. Analysis of the safety of residential buildings under gas explosion loads // *Journal of building engineering*. 2021. № 43. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102815.
16. О газоснабжении в Российской Федерации (в ред. от 1 мая 2022 г): Федер. закон от 31 марта 1999 г. № 69-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

### References

1. Problems of safety of gas systems in the places of residence of agricultural workers / D.V. Belomutenko [et al.] // *IOP Conf. Series: Earth and environmental science* 965. 2022.
2. Traceability and failure consequences of natural gas explosion accidents based on key investigation technology / Hu Qianran [et al.] // *Engineering failure analysis*. 2022. Vol. 139 (5): 106448. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2022.106448.
3. Gazifikaciya regionov Rossii // *GAZPROM mezhregiongaz*.  
URL: <https://mrg.gazprom.ru/about/gasification/> (data obrashcheniya: 28.11.2022).
4. Hronologiya vzryvov bytovogo gaza v zhilyh domah v Rossii.  
URL: <https://news.rambler.ru/incidents/47167110-hronologiya-vzryvov-bytovogo-gaza-v-zhilyh-domah-v-rossii/> (data obrashcheniya: 04.12.2022).
5. Gosudarstvennaya Duma RF. Vo vseh kvartirah s gazom hotyat ustanovit' signalizatory utechek. URL: <http://cmokhv.ru/news/2022-09-08-news20220907/> (data obrashcheniya: 04.12.2022).
6. Nazarov V.P., Ashihmin A.V., Korotovskih Ya.V. Analiz statistiki pozharov i vzryvov gazificirovannyh zdaniy v Rossii // *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*. 2017. № 1 (71). S. 1–5.
7. Vzryvy bytovogo gaza v zhilyh domah v Evrope v 2020–2021 godah // *RIA novosti*. URL: <https://ria.ru/20210120/vzryvy-1593909686.html> (data obrashcheniya: 28.11.2022).
8. Vzryvy bytovogo gaza v mire v 2018–2019 godah // *RIA novosti*. URL: <https://ria.ru/20190112/1549272056.html> (data obrashcheniya: 28.11.2022).
9. Vzryv bytovogo gaza kak sposob ubijstv i samoubijstv, sovershennyh licami s psihicheskimi rasstrojstvami: seriya sluchaev v regionah Rossii (2012–2021 gg.) / F.V. Orlov [i dr.] // *Suicidologiya*. 2022. № 1 (46). S. 45–58.
10. Multi-sensor leakage detector robot for nuclear radiation and chemicals / A. Alkandari [et al.] // *Journal of computational and theoretical nanoscience*. 2019. № 16 (3). P. 1134–1137.
11. Implementing an integrated meter and sensor system (IMSS) in existing social housing stock / A. Shukla [et al.] // *Energy and buildings*. 2019. Vol. 182. P. 274–286.
12. Vazhdaev K.V., Urakseev M.A., Martyasheva V.A. Avtomatizirovannaya mnogofunkcional'naya sistema kontrolya utechki gaza s ispol'zovaniem besprovodnoj tekhnologii // *Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy*. 2020. № 1. S. 93–105.
13. Obespechenie vzryvobezopasnosti zhilyh domov / V.V. Timohin [i dr.] // *Pozhary i CHS*. 2021. № 3. S. 69–74.
14. Vzryvobezopasnoe okno: pat. № 97762 U1 Ros. Federaciya: MPK E06B 7/00 (2006.01), B06B 7/00 (2006.01) / Ignatov M.A. № 2010120267/03; zayavl. 21.02.10; opubl. 20.09.10.
15. Chmielewski R., Bąk A. Analysis of the safety of residential buildings under gas explosion loads // *Journal of building engineering*. 2021. № 43. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102815.
16. О газоснабжении в Российской Федерации (в ред. от 1 мая 2022 г): Федер. закон от 31 марта 1999 г. № 69-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 26.12.2022; одобрена после рецензирования: 30.01.2023;  
принята к публикации: 03.02.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 26.12.2022; approved after review: 30.01.2023;  
accepted for publication: 03.02.2023

*Информация об авторах:*

**Потапова Юлия Сергеевна**, студентка магистратуры высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29), e-mail: azwegy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2023-5643>

**Колесников Евгений Юрьевич**, профессор высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29), доктор технических наук, e-mail: e.konik@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6863>

**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

*Information about the authors:*

**Potapova Yulia S.**, graduate student of the higher school of technosphere security of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnic str., 29), e-mail: azwegy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2023-5643>

**Kolesnikov Evgeny Yu.**, professor of the higher school of technosphere security of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnic str., 29), doctor of technical sciences, e-mail: e.konik@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6863>

**Zakhmatov Vladimir D.**, senior researcher of the department of planning, organization and coordination of scientific research of 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), doctor of technical sciences, professor, e-mail: zet.pulse@gmail.com

Научная статья

УДК 725.381; 629.331; 614.833.4

## **О ПОВЫШЕНИИ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ СТОЯНОК АВТОМОБИЛЕЙ**

✉Таранцев Александр Алексеевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России;

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук,

Санкт-Петербург, Россия.

Поташев Дмитрий Анатольевич.

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

✉[info@iptran.ru](mailto:info@iptran.ru)

*Аннотация.* Применительно к подземным стоянкам автомобилей рассмотрена проблема, связанная с риском взрыва находящихся там автомобилей на газообразном топливе. Приведены примеры конструктивного исполнения таких автостоянок, в частности многоуровневых и встроенных в здания. Основное внимание уделено компьютерному моделированию опасных факторов взрыва. Получены численные результаты, свидетельствующие о сложном ударно-волновом процессе при взрыве в замкнутом объеме этажа автостоянки и угрозе как для находящихся там людей, так и для автомобилей и конструктивных элементов автостоянки. Приведены способы снижения опасности распространения ударной волны взрыва и устойчивости перекрытий подземной автостоянки. Сделаны экономические оценки.

*Ключевые слова:* подземные стоянки автомобилей, газобаллонные автомобили, взрыв, взрывозащита

**Для цитирования:** Таранцев А.А., Поташев Д.А. О повышении взрывобезопасности подземных стоянок автомобилей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 38–46.

Scientific article

## **ON IMPROVING THE EXPLOSION SAFETY OF UNDERGROUND PARKING LOTS**

✉Tarantsev Alexander A.

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

Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences,

Saint-Petersburg, Russia.

Potashev Dmitriy A.

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

✉[info@iptran.ru](mailto:info@iptran.ru)

*Abstract.* In the article, in relation to underground car parking, the problem associated with the risk of explosion of cars located there on gaseous irrigation is considered. Examples of the design of such parking lots are given, in particular, multi-level and built-in buildings. The main attention is paid to computer modeling of explosion hazards. Numerical results have been obtained indicating a complex shock-wave process during an explosion in a closed volume of a parking lot floor and a threat to both people there and cars and structural elements of the parking lot. The ways of reducing the danger of the propagation of the shock wave of an explosion and the stability of the floors of an underground parking lot are given. Economic assessments have been made.

*Keywords:* underground parking, gas-cylinder cars, explosion, explosion protection

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

**For citation:** Tarantsev A.A., Potashev D.A. On improving the explosion safety of underground parking lots // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 38–46.

## Введение

В современном обществе наблюдаются следующие тенденции: во-первых, значительный рост количества автомобилей по отношению к численности населения [1]; во-вторых, плотная застройка в мегаполисах и малая ширина проезжей части улиц в исторических районах. Это приводит к массовому строительству специализированных автостоянок (рис. 1) [2], в частности подземных многоуровневых [3] (рис. 2).



Рис. 1. Условная классификация современных автостоянок

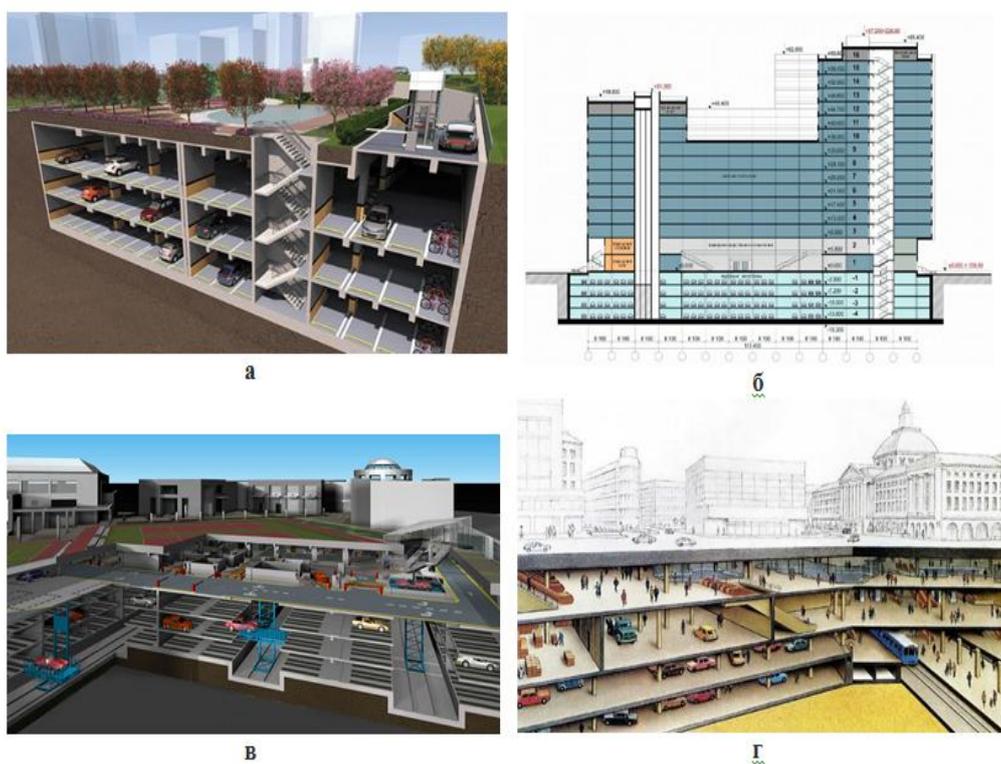


Рис. 2. Многоуровневые подземные автостоянки:  
 а – отдельно стоящая; б – встроенная в многофункциональном центре;  
 в – в жилом комплексе; г – в историческом центре  
 (эти и другие рисунки в статье из открытого доступа в интернете)

## Проблема исследования

Наряду с вышесказанным, большое внимание уделяется экологической обстановке, что приводит к появлению автомобилей на газообразном топливе, в частности газобаллонных (ГБА), обладающих повышенной взрывопожароопасностью [4]. В то же время при утечке газа

из топливной системы ГБА возникает риск взрыва газозвушной смеси, который в замкнутом объеме подземной автостоянки имеет гораздо больший разрушительный эффект по сравнению с аналогичным взрывом на открытой местности [5, 6]. При этом жизнь и здоровье людей (водители, пассажиры), находящихся на неавтоматизированных автостоянках (рис. 2), может подвергаться большой опасности.

Эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости исследования динамики опасных факторов взрыва (ОФВ), прежде всего воздушной ударной волны (ВУВ) в подземной автостоянке, а также принятия соответствующих мер защиты. Разумеется, для снижения опасности взрыва в подземной автостоянке оговаривается запрет въезда ГБА, но ввиду внешнего сходства ГБА с автомобилями на жидком топливе, сложности контроля на въезде и склонности некоторых водителей к нарушениям такую меру нельзя признать эффективной.

### Компьютерное моделирование взрыва ГБА в подземной автостоянке

Поскольку натурное моделирование взрыва ГБА в подземной автостоянке представляет большую сложность, представляется целесообразным проводить математическое моделирование такого процесса. Но ввиду того, что сложный ударно-волновой процесс, возникающий при взрыве, описывается трехмерной системой дифференциальных уравнений сохранения массы, импульса и энергии, а также уравнением состояния с соответствующими начальными и граничными условиями [7], получение аналитического решения для динамики ВУВ не представляется возможным.

Решение этой задачи возможно только численными методами, например, с использованием компьютерной программ ANSYS [8–10]. На примере этажа подземной автостоянки [11] размером 26250×17000×3000 мм, на котором размещены 17 автомобилей, была исследована динамика ВУВ. Были рассмотрены два варианта взрыва ГБА: стоящего у стенки и в углу этажа соответственно. Визуализация динамики ВУВ для первого варианта представлена на рис. 3, динамика давления в ВУВ в различных точках этажа – на рис. 4, для второго варианта – на рис. 5, 6.

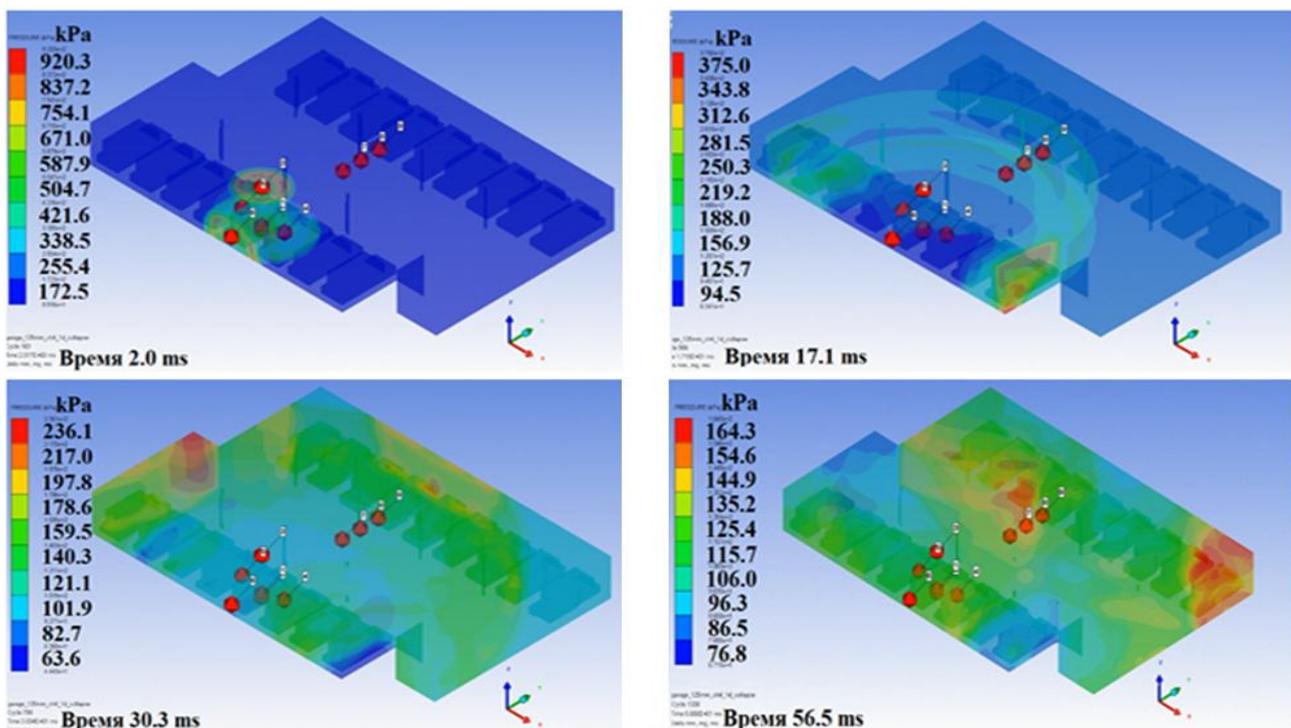


Рис. 3. Динамика ВУВ при взрыве ГБА у стенки этажа подземной автостоянки (красные точки – датчики давления)

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- а) происходит импульсное нагружение перекрытий и стен этажа, чреватое риском их механического повреждения и разрушения;
- б) имеет место интенсивный ударно-волновой процесс с многократным отражением ВУВ от строительных конструкций и автомобилей;
- в) уровни давления во фронте ВУВ представляют смертельную угрозу для находящихся на этаже людей и могут привести к опрокидыванию и разрушению автомобилей с риском их возгорания и каскадным развитием опасной ситуации.

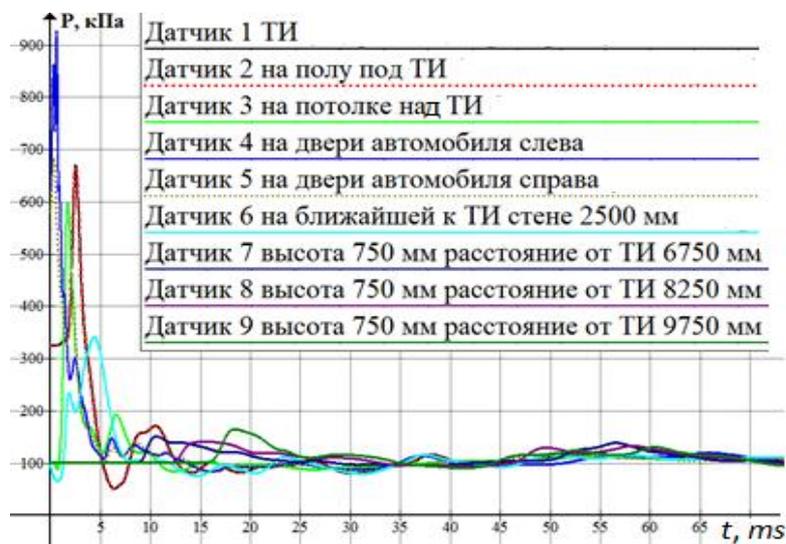


Рис. 4. Давление во фронте ВУВ при взрыве ГБА у стенки: ТИ – точка инициации; 100 кПа  $\approx$  1 атм

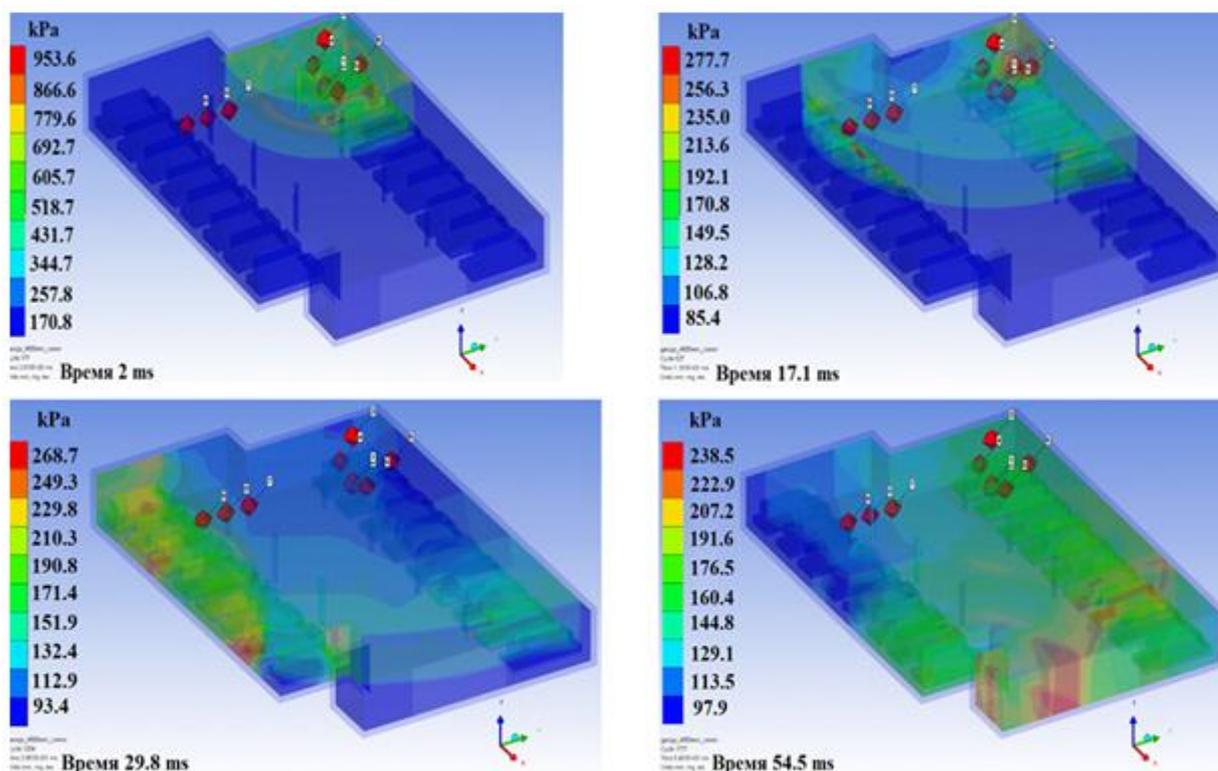


Рис. 5. Динамика ВУВ при взрыве ГБА в углу этажа подземной автостоянки (красные точки – датчики давления)

Нетрудно понять, что и для объемно-планировочных решений других подземных автостоянок ситуация будет аналогичной. Это приводит к необходимости изыскания способов повышения взрывобезопасности этажей подземных автостоянок.

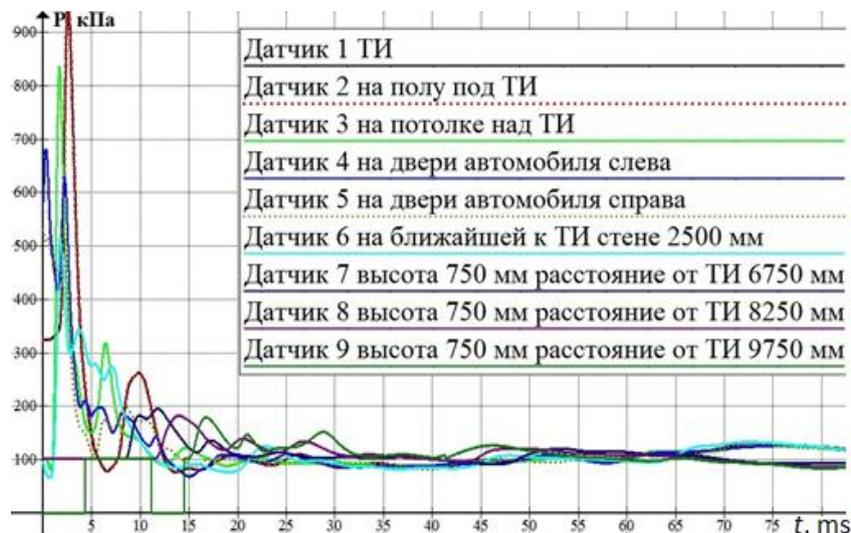


Рис. 6. Давление во фронте ВУВ при взрыве ГБА в углу этажа

### Возможные способы повышения взрывобезопасности этажей подземных автостоянок

Первый способ повышения взрывобезопасности этажа подземной автостоянки предполагает использование прозрачных ленточных завес [1], разделяющих объем этажа автостоянки на условные взрывозащищенные секции (рис. 7 а). Такие завесы не препятствуют въезду/выезду и паркованию автомобилей (рис. 7 б), а в случае взрыва ГБА гасят энергию ВУВ (рис. 7 в). При пожаре они могут орошаться, сдерживая распространение его опасных факторов [12]. В качестве материала для лент может, например, использоваться LEXANTM F2000 [13].

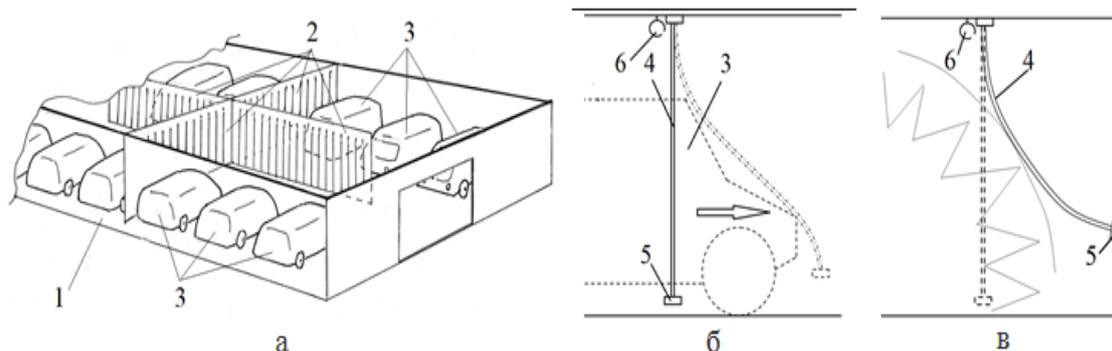


Рис. 7. Взрывоослабляющие завесы на этажах подземных автостоянок при наличии ГБА: а – разделение объема этажа на взрывозащищенные секции; б – проезд автомобиля через завесу; в – ослабление ВУВ ленточной завесой; обозначения: 1 – парковочная площадь; 2 – ленточные завесы; 3 – автомобили, в том числе ГБА; 4 – лента со стабилизирующим грузом; 5, 6 – гидромагистраль для орошения ленточной завесы

Второй способ предусматривает применение легкосбрасываемых конструкций (ЛСК) для выхода ВУВ наружу как для полностью подземной (рис. 8 а), так и частично подземной автостоянки при сложном рельефе местности с перепадом высот (рис. 8 в). Выход энергии ВУВ через ЛСК (рис. 8 б) при взрыве ГБА позволит значительно ослабить ее разрушающее воздействие на автомобили и строительные конструкции.

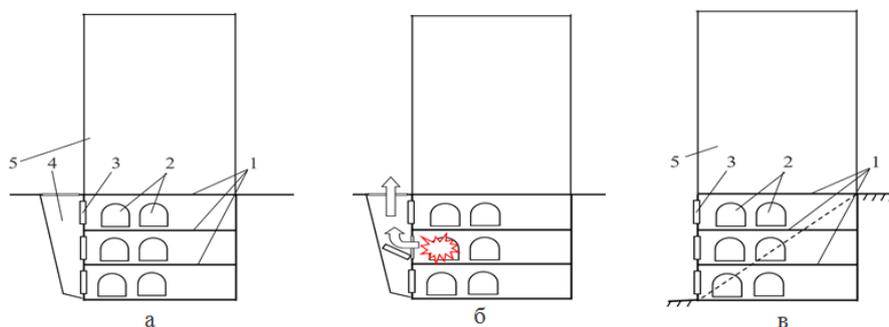


Рис. 8. Применение ЛСК для взрывозащиты встроенной закрытой автостоянки: а – встроенная подземная автостоянка; б – выход ВУВ через ЛСК при взрыве ГБА; в – встроенная автостоянка при перепаде высот местности; обозначения: 1 – парковочные площади; 2 – автомобили; 3 – ЛСК; 4 – выпускной колодец; 5 – здание

Третий способ заключается в обеспечении устойчивости перекрытия к воздействию ВУВ (рис. 3–6) при взрыве ГБА. Способ предусматривает оборудование перекрытия снизу каркасом из трубчато-листовых полос и амортизирующим (ударопоглощающим) слоем (рис. 9).

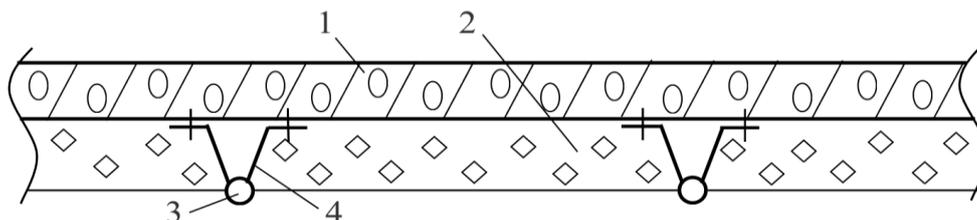


Рис. 9. Взрывоустойчивое межэтажное перекрытие автостоянки: 1 – железобетонная основа перекрытия; 2 – амортизирующий слой; 3 – силовая труба; 4 – листовое основание каркаса

Применение вышеуказанных способов вместе или в отдельности позволит обеспечить взрывозащиту и взрывоустойчивость подземных автостоянок при нахождении в них ГБА. Это особенно важно при наличии таких автостоянок под административными, жилыми и исторически ценными зданиями, а также под торгово-развлекательными центрами.

### Оценка эффективности способов повышения взрывобезопасности автостоянки

Вышеперечисленные способы повышения взрывобезопасности подземной автостоянки можно оценивать по двум критериям: экономической целесообразности и риска для людей. Первый критерий можно выразить в виде неравенства:

$$p(C_A + C_C + C_3 + C_L)k_B > C_{ЛЗ} + C_{ЛСК} + C_{П}, \quad (1)$$

где  $p$  – вероятность взрыва ГБА в подземной автостоянке;  $C_A$  – ущерб от повреждения других автомобилей на стоянке;  $C_C$  – ущерб от повреждения конструктивных элементов автостоянки;

$C_3$  – ущерб, причиненный зданию, если подземная автостоянка размещена под ним;  $k_B > 1$  – коэффициент, учитывающий ликвидацию последствий взрыва ГБА (разбор завалов, удаление поврежденных автомобилей, укрепление конструкций для предотвращения каскадных разрушений и т.п.);  $C_{ЛЗ}$ ,  $C_{ЛСК}$  – стоимость оборудования автостоянки ленточными завесами и ЛСК соответственно;  $C_{П}$  – стоимость повышения взрывоустойчивости перекрытия;  $C_{Л}$  – затраты на возмещение ущерба здоровью людей, которые могут пострадать при взрыве.

Разумеется, для определения каждого из компонентов выражения (1) необходимо провести специальное исследование применительно к конкретной подземной автостоянке или типу автостоянок. Если условие (выражение (1)) не выполняется, то в обеспечении взрывобезопасности подземной автостоянки нет необходимости. Например, если исключить въезд в нее ГБА или других автомобилей на газообразном топливе, то  $p=0$  (взрыв исключен) и левая часть выражения (1) тоже обнуляется. Если условие (1) выполняется, то взрывозащита подземной автостоянки необходима.

Второй критерий можно представить в виде:

$$\frac{N_3}{N_0} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $N_0$ ,  $N_3$  – количество человек, которые могут пострадать при взрыве в подземной автостоянке, когда не принимается никаких мер по взрывозащите и когда такие меры предприняты (см. выше).

Критерий (2) применим к неавтоматизированным автостоянкам (рис. 2), поскольку в автоматизированных автостоянках исключено пребывание людей, а следовательно, исключен и риск для них. Минимизация количества  $N_3$  в неавтоматизированных автостоянках обеспечивается средствами их взрывозащиты.

### Выводы

Таким образом, в статье рассмотрена проблема взрывоопасности в подземных автостоянках при наличии в них ГБА. Показано, что компьютерное моделирование динамики ВУВ в объеме этажа автостоянки является наиболее эффективным методом исследования взрывного воздействия на несущие конструкции и припаркованные автомобили. Полученные результаты численного моделирования свидетельствуют об опасности взрыва как для самой автостоянки и расположенных над ней строений, так и находящихся внутри людей. Предложены способы снижения интенсивности воздействия ВУВ и повышения взрывоустойчивости перекрытий подземной автостоянки. Полученные результаты моделирования взрыва и предложенные способы снижения его опасности применимы также к наземным автостоянкам закрытого типа.

### Список источников

1. Проблема взрывопожарной опасности подземных автостоянок и ее возможное решение / Л.Т. Танклевский [и др.] // Журнал «XXI век: итоги прошлого проблемы настоящего плюс». 2022. № 4 (60). Т. 11. С. 225–232. DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-035.
2. Свод правил 113.13330.2016. Стоянки автомобилей // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.12.2022).
3. Свод правил 154.13130.2013. Встроенные подземные автостоянки // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.12.2022).
4. Таранцев А.А., Сытдыков М.Р., Поташев Д.А. О пожароопасности некоторых типов автомобилей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 1. С. 1–8. DOI: 10.24412/2218-130X-2021-1-1-8.

5. Акатьев В.А. Основы взрывопожаробезопасности: учеб. пособие. М.: РГСУ, 2008.
6. Поташев Д.А. О проблеме взрывопожароопасности подземных автостоянок // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 4. С. 132–139.
7. Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1978. 687 с.
8. Autodyn Explicit software for nonlinear dynamics/Theory manual /ANSYS. InCrevision – 4.3 – 2021: учеб. пособие по теории. 2021.
9. ANSYS. Руководство пользователя Workbench. Канонсбург, Пенсильвания, США, 2021.
10. Ларчер М., Касадеи Ф. Взрывы в сложных геометриях – сравнение нескольких подходов // Доклад Объединенного исследовательского центра – Института защиты и безопасности граждан. 2010.
11. Социальная сеть проектировщиков, работающих в REVIT.  
URL:[https://revitcity.ru/index.php?option=com\\_easysocial&view=photos&layout=item&ii=15790:parking-for-site-6&type=user&uid=525:vadim-belov&Itemid=273](https://revitcity.ru/index.php?option=com_easysocial&view=photos&layout=item&ii=15790:parking-for-site-6&type=user&uid=525:vadim-belov&Itemid=273) (дата обращения: 04.12.2022).
12. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012.
13. Торгово-строительная компания Империя.  
URL: [https://www.tbc-empire.ru/production/sheet\\_material/polycarbonate/negoryuchie-listi/?ysclid=lcnogtyqj800849302](https://www.tbc-empire.ru/production/sheet_material/polycarbonate/negoryuchie-listi/?ysclid=lcnogtyqj800849302) (дата обращения: 04.12.2022).

## References

1. Problema vzryvopozharnoj opasnosti podzemnyh avtostoyanok i ee vozmozhnoe reshenie / L.T. Tanklevskij [i dr.] // Zhurnal «XXI vek: itogi proshlogo problemy nastoyashchego plyus». 2022. № 4 (60). Т. 11. С. 225–232. DOI: 10.46548/21vek-2022-1160-035.
2. Svod pravil 113.13330.2016. Stoyanki avtomobilej // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 10.12.2022).
3. Svod pravil 154.13130.2013. Vstroennye podzemnye avtostoyanki // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 10.12.2022).
4. Tarancev A.A., Sytdykov M.R., Potashev D.A. O pozharoopasnosti nekotoryh tipov avtomobilej // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 1. С. 1–8. DOI: 10.24412/2218-130H-2021-1-1-8.
5. Akat'ev V.A. Osnovy vzryvopozharobezopasnosti: ucheb. posobie. М.: RGSU, 2008.
6. Potashev D.A. O probleme vzryvopozharoopasnosti podzemnyh avtostoyanok // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 4. С. 132–139.
7. Rozhdestvenskij B.L., YAnenko N.N. Sistemy kvazilinejnyh uravnenij i ih prilozheniya k gazovoj dinamike. 2-e izd., pererab. i dop. М.: Nauka, 1978. 687 s.
8. Autodyn Explicit software for nonlinear dynamics/Theory manual /ANSYS. InCrevision – 4.3 – 2021: ucheb. posobie po teorii. 2021.
9. ANSYS. Rukovodstvo pol'zovatelya Workbench. Kanonsburg, Pensil'vaniya, SSHA, 2021.
10. Larcher M., Kasadei F. Vzryvy v slozhnyh geometriyah – sravnenie neskol'kih podhodov // Doklad Ob"edinennogo issledovatel'skogo centra – Instituta zashchity i bezopasnosti grazhdan. 2010.
11. Social'naya set' proektirovshchikov, rabotayushchih v REVIT.  
URL:[https://revitcity.ru/index.php?option=com\\_easysocial&view=photos&layout=item&ii=15790:parking-for-site-6&type=user&uid=525:vadim-belov&Itemid=273](https://revitcity.ru/index.php?option=com_easysocial&view=photos&layout=item&ii=15790:parking-for-site-6&type=user&uid=525:vadim-belov&Itemid=273) (data obrashcheniya: 04.12.2022).
12. Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshchenii: ucheb. posobie / Yu.A. Koshmarov [i dr.]. М.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2012.

13. Torgovo-stroitel'naya kompaniya Imperiya. URL: [https://www.tbc-empire.ru/production/sheet\\_material/polycarbonate/negoryuchie-listi/?ysclid=lcnoglytqj800849302](https://www.tbc-empire.ru/production/sheet_material/polycarbonate/negoryuchie-listi/?ysclid=lcnoglytqj800849302) (data obrashcheniya: 04.12.2022).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 26.01.2023; одобрена после рецензирования: 14.03.2023; принята к публикации: 17.02.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 26.01.2023; approved after review: 14.03.2023; accepted for publication: 17.02.2023

*Информация об авторах:*

**Таранцев Александр Алексеевич**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аврийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); заведующий лабораторией проблем безопасности транспортных систем Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (199178, Санкт-Петербург, 12 Линия ВО, д. 13), доктор технических наук, профессор, заслуженные работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: [info@iptran.ru](mailto:info@iptran.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1561-2483>

**Поташев Дмитрий Анатольевич**, старший преподаватель-методист Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [dim-po@igps.ru](mailto:dim-po@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2190-399X>

*Information about the authors:*

**Tarantsev Alexander A.**, professor 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); head of the laboratory of safety problems of transport systems of the N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences (199178, Saint-Petersburg, 12 Line VO, d. 13), doctor of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: [info@iptran.ru](mailto:info@iptran.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1561-2483>

**Potashev Dmitry A.**, senior lecturer and methodologist of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: [dim-po@igps.ru](mailto:dim-po@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2190-399X>

Научная статья

УДК 614.84

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА МЕЖПОСЕЛКОВОЙ СЕТИ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ**

✉ **Попова Юлия Ивановна.**

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,**

**Санкт-Петербург, Россия.**

**Минкин Денис Юрьевич;**

**Крутолапов Александр Сергеевич.**

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

✉ [popova.yui@edu.spbstu.ru](mailto:popova.yui@edu.spbstu.ru)

*Аннотация.* Статья посвящена разработке предложений по совершенствованию системы управления пожарной безопасностью на межпоселковой сети газопотребления. Целью работы является формирование и обоснование предложений по совершенствованию порядка проведения расчета и оценки риска на межпоселковой сети газопотребления на примере конкретного опасного производственного объекта. Для достижения поставленной цели была проанализирована нормативно-правовая база, касающаяся области пожарной безопасности промышленных объектов, исследован порядок проведения оценки пожарного риска на объекте газовой промышленности. Проведено моделирование развития ситуации на примере семи выбранных населенных пунктов, применительно к которым рассчитаны зоны индивидуального и коллективного риска. Все это необходимо для детального анализа основных параметров системы пожарной безопасности на сетях газопотребления и в случае необходимости – выявления недостатков и разработке комплекса мероприятий, нацеленных на улучшение данной системы.

*Ключевые слова:* авария, пожарная безопасность, промышленная безопасность, межпоселковая сеть газопотребления, оценка риска, потенциальный риск, индивидуальный риск

**Для цитирования:** Попова Ю.И., Минкин Д.Ю., Крутолапов А.С. Разработка системы управления пожарной безопасностью на межпоселковой сети газопотребления // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 47–56.

Scientific article

## **ASSESSMENT OF FIRE RISK IN THE INTER-SETTLEMENT NETWORK OF GAS CONSUMPTION**

✉ **Popova Yulia I.**

**Saint-Petersburg polytechnic university of Peter the Great, Saint-Petersburg, Russia.**

**Minkin Denis Yu.;**

**Krutolapov A.S.**

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

✉ [popova.yui@edu.spbstu.ru](mailto:popova.yui@edu.spbstu.ru)

*Abstract.* The article is devoted to the development of proposals for improving the fire safety management system on the inter-village gas consumption network. The purpose of the work is to form and substantiate proposals for improving the procedure for calculating and assessing risk on the inter-village gas consumption network on the example of a specific hazardous production facility. In order to achieve this goal, the regulatory framework concerning the field of fire safety

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

of industrial facilities was analyzed, the procedure for conducting fire risk assessment at a gas industry facility was investigated. The simulation of the situation development is carried out on the example of seven selected settlements, for which individual and collective risk zones are calculated. All this is necessary for a detailed analysis of the main parameters of the fire safety system on gas consumption networks and, if necessary, to identify shortcomings and develop a set of measures aimed at improving this system.

*Keywords:* accident, fire safety, industrial safety, inter-settlement gas consumption network, risk assessment, potential risk, individual risk

**For citation:** Popova Yu.I., Minkin D.Yu., Krutolapov A.S. Assessment of fire risk in the inter-settlement network of gas consumption // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 47–56.

## Введение

Газовая отрасль является одной из самых молодых в мире. Но, несмотря на это, газодобывающая отрасль в настоящее время является фундаментом в национальной экономике страны и обеспечивает около 30 % годового бюджета [1]. Газотранспортная система (ГТС) Российской Федерации является самой большой в мире не только по длине, но и по промышленной производительности.

Особую актуальность имеет вопрос обеспечения пожарной безопасности на опасных производственных объектах (ОПО) газовой отрасли. Опасность здесь характеризуется вероятностью реализации чрезвычайных ситуаций (ЧС) с выбросами взрывоопасного газа в атмосферу. Аналогичные ЧС характерны и для межпоселковых сетей газопотребления (МПСП). Поэтому проблематика обеспечения устойчивого и безопасного функционирования межпоселковых сетей газопотребления является в настоящее время весьма актуальной [2].

Важной особенностью МПСП является то, что в отличие от промышленных предприятий, территория которых ограничена, сети газопотребления, являясь как подземными, так и надземными, располагаются, в том числе, и в селитебных зонах, пересекают транспортные сети, что существенно увеличивает риски возникновения пожаро-взрывоопасных ситуаций, ведь повреждениям подвергаются как объекты защиты, так и рядом расположенные объекты.

Подробную статистику ЧС на указанных объектах приводят в своих работах Л.М. Веденеева и М.А. Павлюченкова. Авторы в своей работе «Анализ аварий в сетях газораспределения и газопотребления» приводят анализ причин аварий с 2012 по 2019 г. Анализируя данную работу, можно проследить положительную динамику возникновения ЧС на сетях газопотребления, в связи с чем значительно уменьшилось количество пострадавших и смертельных случаев [3].

В процессе проведенных исследований было обосновано, что для детального анализа пожарного риска на МПСП необходимо изучить причины возникновения аварий, а также влияние нормативно-правовой базы на управление пожарными рисками [4]. В работе [5] авторы рассматривают наиболее частые причины возникновения аварийных ситуаций. Проведя анализ данной работы, можно сделать вывод о том, что большинство аварий на газопроводах вызвано механическими повреждениями систем, а также коррозией и разрывами сварных швов [6–7]. Все это приводит к утечкам метана и в отдельных случаях – к его возгоранию. С учетом указанных особенностей при организации функционирования и эксплуатации МПСП обязательно должен разрабатываться комплекс специальных мероприятий, способствующих предупреждению подобных аварий. Также необходимым условием для обеспечения пожарной безопасности на газопроводах является наличие на них оборудования для учета возникновения и обнаружения пожаров и взрывов, а также утечек газа [8].

Оценка риска с учетом сформулированных предложений позволит оценить и повысить уровень пожарной защиты объектов МПСП, что в дальнейшем будет способствовать

минимизации негативных последствий, человеческих жертв, а также экономического и экологического ущерба.

Целью работы является формирование и обоснование предложений по совершенствованию порядка проведения расчета и оценки риска на МПСГП для снижения ее пожарного риска.

### Методы исследования

Расчет риска в данной работе производится в соответствии с приказом МЧС России от 10 июля 2010 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (приказ МЧС России № 404) [9]. План для расчета риска и дальнейшего анализа:

1. Оценка количества опасного вещества в оборудовании.
2. Оценка количества вещества (метана), непосредственно задействованного в аварии.
3. Оценка вероятности возникновения инициирующего события.
4. Построение дерева событий.
5. Определение возможных сценариев в соответствии с деревом событий.
6. Определение зон действия поражающих факторов аварии.
7. Определение рисков.

На первоначальном этапе работы необходимо определить данные для расчета пожарного риска, свойства технологического объекта.

С помощью использования метода построения деревьев событий, необходимых для рассмотрения возникновения аварийных состояний, связанных с разгерметизацией или разрушением газопровода, рассмотрены сценарии развития пожароопасных и взрывоопасных ситуаций на сетях газопотребления.

Для определения количества опасного вещества в оборудовании необходимо рассмотреть, какое технологическое оборудование задействовано на данном объекте. Перечень технологического оборудования приведен в табл. 1.

Таблица 1

### Перечень технологического оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Количество	Опасное вещество	Техническая характеристика
1	Газопровод высокого давления на участке от ГРС до N1-4-1 9	–	Метан	Ø 159 мм L = 26,1 м P= 1,2 МПа Q=126000 м <sup>3</sup> /ч
2	Газопровод высокого давления на участке от N1-4-1 до N1-4-4	–	Метан	Ø 159 мм L = 2570,13 м P= 1,2 МПа Q=126000 м <sup>3</sup> /ч
3	Газопровод высокого давления на участке от N1-4-4 до ГРП N1-4-0	–	Метан	Ø 159 мм L = 7,9 м P= 1,2 МПа Q=126000 м <sup>3</sup> /ч
4	Газопровод среднего давления	–	Метан	Ø 219 мм L = 2,2 м Ø 225 мм L = 1678,7 м Ø 160 мм L = 2936 м Ø 110 мм L = 3693,96 м Ø 63 мм L = 914,74 м Ø 32 мм L = 8,4 м Ø 57 мм L = 3,88 м P= 0,6 МПа Q=6 000 м <sup>3</sup> /ч
5	Газопровод распределительный	–	Метан	Средний Ø 63 мм L = 12079,29 м P= 0,3 МПа Q=650 м <sup>3</sup> /ч
6	Газорегуляторный пункт	1	Метан	P= 0,6 МПа Q=6 000 м <sup>3</sup> /ч

Основой для определения пожарных рисков является построение дерева событий для каждого участка газопровода. Общая схема зависит от состояния транспортируемого газа и приводит к таким результирующим событиям, как пожар-вспышка, факельное горение, взрыв. На рис. 1 показан ход событий при разгерметизации газопровода при малом расходе газа (<1 кг/с), также в данной работе рассматриваются разгерметизации при среднем (1–50 кг/с), большом расходе газа (>50 кг/с) и при полном разрыве газопровода.

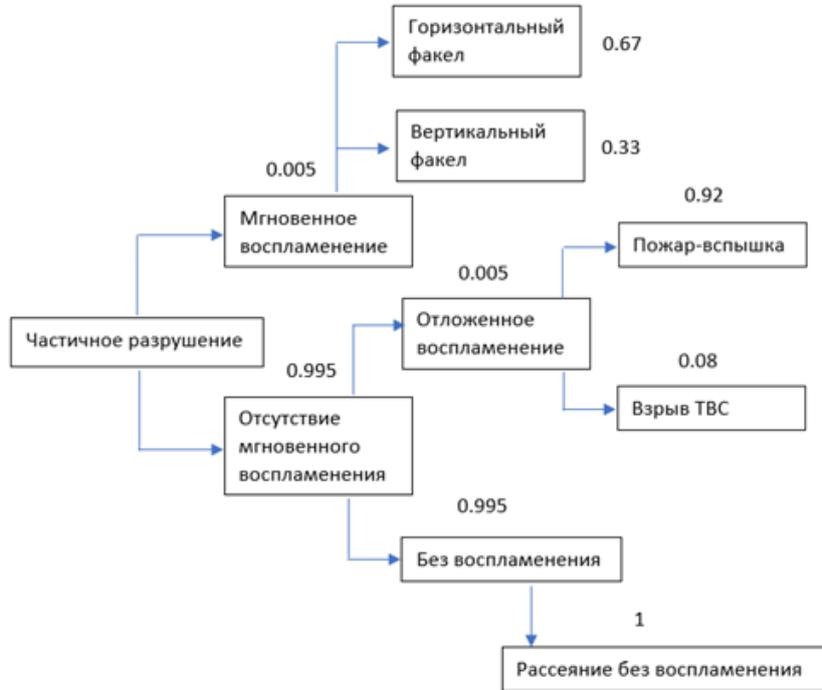


Рис. 1. Пример дерева событий при разгерметизации газопровода при малом расходе газа

При построении логического дерева была отражена очередность событий: от исходного к итоговому. Для того чтобы определить частоту пожароопасных ситуаций, необходимы статистические сведения:

- об отказах оборудования. Например, повреждение подземного газопровода в связи с проведением несогласованных земляных работ ковшом экскаватора;
- о неверных действиях работников, повлекших за собой аварию. Таковыми могут являться проведения работ с несоблюдением техники пожарной безопасности;
- о гидрометеорологической обстановке, факторах внешнего воздействия (природные катаклизмы, удары молний). При расчетах температурные значения принимаются наибольшие для данного типа климата, ведь поставка газа должна быть бесперебойным процессом при любом температурном диапазоне окружающей среды [10];
- о специфике местности.

Частота каждого из сценариев развития пожароопасной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного события. Результаты расчета вероятностей рассчитываются по формуле:

$$P_{\text{реализация сценария}} = P_{\text{реализация аварии}} * P_{\text{иницирующее событие}}$$

Используя дерево событий, произведем расчет вероятности наихудшего варианта развития ситуации, а именно образование горящего факела. В работе рассматриваются наземные и подземные газопроводы, поэтому появляется возможность не рассматривать такой вариант развития аварии, как взрыв газового объема. Для объемного взрыва газа необходимо закрытое пространство и повышенная степень загазованности помещения.

При повреждениях на линейной части магистральных и распределительных газопроводах при мгновенном воспламенении наиболее вероятно возникновение факельного горения газа, находящегося под давлением. Длину горящей струи факела  $L_F$  (м) возможно рассчитать по формуле:

$$L_F = K * G^{0.4},$$

где  $G$  – расход продукта, кг/с;  $K$  – эмпирический коэффициент, величина которого зависит от фазы и вида газа.

Ширина факела  $D_F$  (м) рассчитывается по формуле:

$$D_F = 0,15 * L_F.$$

При определении расчетных величин пожарных рисков, руководствуясь требованиями приказа МЧС России № 404 [9], величина потенциального пожарного риска  $P(r)$  (год<sup>-1</sup>) для линейной части магистрального трубопровода в точке на расстоянии  $r$  от его оси определяется по формуле:

$$P(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j(m) Q_{jk} \int_{x_{1jk}}^{x_{2jk}} Q_{пор\ jk}(x, r) dx,$$

где  $\lambda_j(m)$  – удельная частота разгерметизации линейной части магистрального трубопровода для  $j$ -го типа разгерметизации на участке  $m$  магистрального трубопровода, год<sup>-1</sup>\*м<sup>-1</sup>;  $K_0$  – число сценариев развития пожароопасной ситуации или пожара;  $J_0$  – число рассматриваемых типов разгерметизации;  $Q_{jk}$  – условная вероятность реализации  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара) для  $j$ -го типа разгерметизации;  $Q_{пор\ jk}(x, r)$  – условная вероятность поражения человека в рассматриваемой точке на расстоянии  $r$  от оси магистрального трубопровода в результате реализации  $k$ -го сценария развития пожароопасной ситуации (пожара), произошедшей на участке магистрального трубопровода с координатой  $x$ , расположенной в пределах участка влияния  $k$ -го сценария развития пожара для  $j$ -го типа разгерметизации;  $X_{1jk}$ ,  $X_{2jk}$  – координаты начала и окончания участка влияния.

Значения коллективного и индивидуального рисков рассчитываются с учетом значения потенциального территориального риска и зависят от вероятности нахождения людей в рассматриваемых точках.

Индивидуальный риск  $R_{инд}$ , год<sup>-1</sup>, для  $i$ -го индивида рассчитывается по формуле:

$$R_{инд} = \sum_{j=0}^G q_{ij} * R_{п.т.},$$

где  $q_{ji}$  – вероятность присутствия индивида  $i$  в  $j$ -й области территории;  $G$  – число областей, на которые условно можно разбить территорию объекта, при условии, что величина потенциального риска на всей площади каждой из таких областей можно считать одинаковой;  $R_{п.т.}$  – потенциальный территориальный риск.

Коллективный риск определяется на основе индивидуального с учетом числа людей, находящихся в зоне риска по формуле:

$$R_{кол} = \sum_{m=1}^p R_{инд\ m} * N_m,$$

где  $R_{инд\ m}$  – индивидуальный риск персонала;  $N_m$  – число людей, подверженных рассматриваемой опасности (опасному фактору (ОФ)).

Моделирование аварийных ситуаций будет производиться в программе TOXI+Risk. Данная программа позволяет:

- смоделировать расчеты на планах местности;
- провести оценку количества человек, оказавшихся в зоне действия опасных факторов, максимально возможного количества потерпевших и погибших;
- построить поля потенциального риска и частот превышения выше заданного уровня избыточного давления и импульса от нескольких источников опасности для различных сценариев аварии;
- рассчитывать коллективный, индивидуальный и социальный риски.

### Результаты исследования и их обсуждение

Основной задачей разработки дополнительных мероприятий, обеспечивающих снижение значения пожарного риска, является сравнительный анализ полученных расчетных значений риска с нормативными значениями.

На рассматриваемой сети находится ряд участков, аварии на которых будут являться особо опасными для населения. К этим участкам относятся:

1. Переход через ж/д г. Лихославль. Диаметр 219 мм сталь, глубина заложения 3,0 м, протяженность прокладки по ж/д 800 м.
2. Переход через автодорогу д. Кава. Диаметр ПЭ110, глубина заложения 1,9 м, протяженность 5 м.
3. д. Пруды, прохождение по землям сельхозназначения рядом с жилым сектором. Сталь диаметром 108 мм, глубина заложения 1,3 м, протяженность 700 м.
4. д. Губка, пересечение дороги в поселке. Сталь диаметром 108 мм, глубина заложения 1,5 м, протяженность 5 км.
5. г. Лихославль, прохождение по обочине дороги в жилом секторе. Сталь диаметр 159 мм, глубина заложения 1,3 м, протяженность 10 км.
6. г. Лихославль, пересечение автодороги. Глубина заложения 1,5 м, сталь диаметр 159 мм, протяженность 800 м.
7. д. Вески, прохождение по обочине дороги в жилом секторе. Сталь диаметр 159 мм, глубина заложения 1,3 м, протяженность 1,3 км.

Рассмотрим величины риска на рассматриваемых участках, а также F–N диаграммы зависимости числа погибших от частоты реализации аварии (рис. 2).

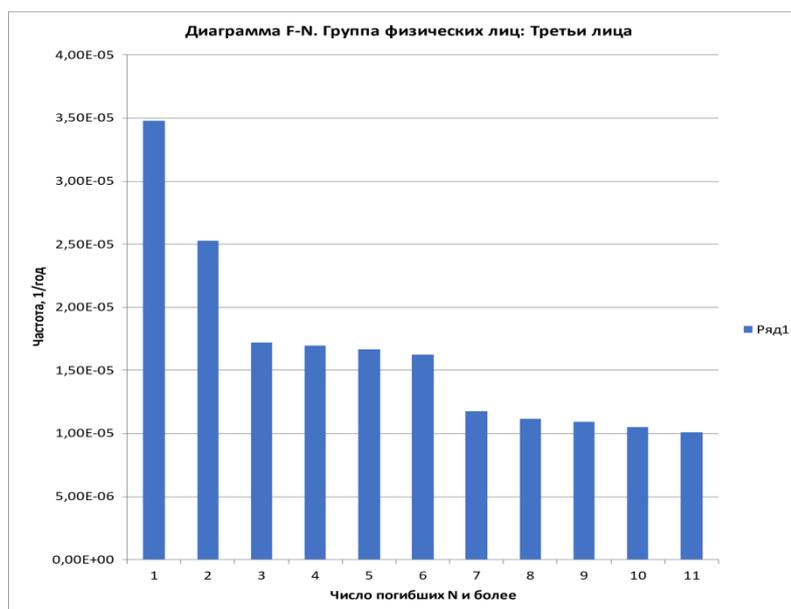


Рис. 2. Диаграмма для населения д. Вески

Результаты расчета зон индивидуального и коллективного рисков представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты расчета зон индивидуального и коллективного рисков**

№	Место замера	Число одновременно находящихся людей	Длина опасного сближения, м	Коэффициент присутствия	Индивидуальный риск	Коллективный риск
1	2	3	4	5	6	7
1	г. Лихославль, переход через ж/д г. Лихославля	1 000	800	1,00	2.51E-009	2.51E-008
2	д. Кава, переход через автодорогу	258	5 000	1,00	2.08E-007	5.37E-005
3	д. Пруды, прохождение по землям сельхозназначения рядом с жилым сектором	66	700	1,00	1.63E-008	1.07E-006
4	д. Губки, пересечение дороги в поселке	72	5 000	1,00	2.28E-007	1.64E-005
5	г. Лихославль, прохождение по обочине дороги в жилом секторе	11 285	10 000	1,00	5.66E-010	6.38E-010
6	г. Лихославль, пересечение автодороги	10	800	1,00	4.42E-010	4.42E-010
7	д. Вески, прохождение по обочине дороги в жилом секторе	625	1 300	1,00	2.91E-007	1.82E-004

С помощью программы были смоделированы аварийные ситуации на МПСГП для каждого рассматриваемого участка. На рис. 3 представлен ситуационный план аварийной ситуации – разгерметизации трубопровода высокого давления, диаметр отверстия 159 мм.



Рис. 3. Ситуационный план аварийной ситуации в д. Вески

При оценке соответствия мероприятий, направленных на уменьшение пожарного риска на МПСГП с требованиями пожарной безопасности, возникает ряд проблем:

- высокая взрывоопасность применяемых технологий;
- высокая концентрация опасного вещества – метана на единицу площади;
- сложность оценки защищенности населения, проживающего в селитебной зоне.

При анализе перечисленных проблем возникает необходимость оценки пожарного риска с целью оценить защищенность людей от ОФ ЧС, связанных с возгораниями на сетях газопотребления.

Подробное описание представлено в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты сравнения расчетных и нормативных значений риска**

№	Место замера	Нормативное значение	Полученное значение
1	2	3	4
1	д. Кава, переход через автодорогу	10E-008	2.08E-007
2	д. Пруды, прохождение по землям сельхозназначения рядом с жилым сектором	10E-008	1.63E-008
3	д. Губки, пересечение дороги в поселке	10E-008	2.28E-007
4	д. Вески, прохождение по обочине дороги в жилом секторе	10E-008	2.91E-007

Полученные результаты указывают на то, что в четырех из семи рассматриваемых объектах сетей газораспределения было выявлено несоответствие: отклонение от показателей нормативных значений. В связи с этим был предложен ряд мероприятий, нацеленных на снижение полученных значений до нормативных.

**Заключение**

На основе проведенного исследования были разработаны предложения по совершенствованию системы управления пожарной безопасностью на МПСГП.

Авторами статьи разработаны следующие практические рекомендации, которые можно разделить на две условные категории: направленные на снижение вероятности возникновения взрыво- и пожароопасной ситуации и тяжести последствий.

Первая категория:

1. Пересмотр требований по периодичности частоты диагностики газопроводов, испытание их на герметичность и прочность.

2. Проведение разъяснительных работ с населением по вопросам опасности проведения несанкционированных работ на сетях и газоиспользующем оборудовании.

3. Регулярная проверка систем оповещения населения.

4. Использование современных материалов при выполнении работ.

5. Внедрение современных технологий в процесс выполнения работ, проводимых на газопроводах.

Регулярная проверка состояния средств пожаротушения.

Вторая категория:

1. Проведение работ с населением по вопросу безопасной эксплуатации сетей и газового оборудования, проведение тренировочных эвакуаций населения, установка систем оповещения населения о произошедшей аварии.

2. Уменьшение времени выхода природного газа из возникшего в результате аварии отверстия с помощью установок систем обнаружения утечек газа.

3. Установка автоматических заглушек, способствующих сокращению времени отключения подачи газа.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предлагаемые мероприятия по снижению показателей уровня риска и обеспечению пожарной безопасности МПСГП, безусловно, будут способствовать уменьшению количества аварийных ситуаций и снижению вероятности воздействия ОФ ЧС на людей и материальные ценности, в связи с чем размеры зон потенциального территориального риска значительно сократятся.

### Список источников

1. The dangerous fire factors formation the on an oil and gas complex objects when using the combustible environment on the tetrachlormethane basis / A.V. Kalach [et al.] // *Earth and environmental science: the IOP conference series*. 2020. № 459 (4.) DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042046.

2. A resilience assessment simulation tool for distribution gas networks / M. Dell’Isola [et al.] // *Journal of natural gas science and engineering*. 2020. 84 (5):103680. DOI: 10.1016/j.jngse.2020.103680

3. Веденева Л.М., Павлюченкова М.А. Анализ аварий в сетях газораспределения и газопотребления // Сб. трудов конф. 2019. С. 195–198.

4. Sandri O., Hayes J., Holdsworth S. Regulating urban development around major accident hazard pipelines: A systems comparison of governance frameworks in australia and the UK // *Environment systems and decisions*. 2020. № 40 (3). P. 385–402. DOI:10.1007/s10669-020-09785-w.

5. Туркова Ю.А., Бирюзова Е.А. Аварии на сетях газораспределения: причины возникновения, мероприятия по предотвращению // *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии*. 2019. С. 390–394.

6. Assessing the performance of the european natural gas network for selected supply disruption scenarios using open-source information / P. Lustenberger [et al.] // *Energies*. 2019. № 12 (24). DOI: 10.3390/en12244685

7. Dynamic probability assessment of urban natural gas pipeline accidents considering integrated external activities / X. Li [et al.] // *Journal of loss prevention in the process industries*. 2021. № 69. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104388.

8. Hendrickson B., Gavelli F., Piekarz J. Too many or not enough? A methodology for evaluating fire and gas detector layouts at LNG facilities // *Process safety progress*. 2021. DOI: 10.1002/prs.12281.

9. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 // МЧС России. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/667> (дата обращения: 27.12.2022).

10. Скляренко З.А. Независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности) и декларирование пожарной безопасности // *Бухгалтерский учет в бюджетных и некоммерческих организациях*. 2010. № 3 (243). С. 18–22.

### References

1. The dangerous fire factors formation the on an oil and gas complex objects when using the combustible environment on the tetrachlormethane basis / A.V. Kalach [et al.] // *Earth and environmental science: the IOP conference series*. 2020. № 459 (4.) DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042046.

2. A resilience assessment simulation tool for distribution gas networks / M. Dell’Isola [et al.] // *Journal of natural gas science and engineering*. 2020. 84 (5):103680. DOI: 10.1016/j.jngse.2020.103680

3. Vedeneva L.M., Pavlyuchenkova M.A. Analiz avarij v setyah gazoraspredeleniya i gazopotrebleniya // *Sb. trudov konf*. 2019. S. 195–198.

4. Sandri O., Hayes J., Holdsworth S. Regulating urban development around major accident hazard pipelines: A systems comparison of governance frameworks in australia and the UK // *Environment systems and decisions*. 2020. № 40 (3). P. 385–402. DOI: 10.1007/s10669-020-09785-w.

5. Turkova Yu.A., Biryuzova E.A. Avarii na setyah gazoraspredeleniya: prichiny vozniknoveniya, meropriyatiya po predotvrashcheniyu // Energo- i resursosberezhenie. Energoobespechenie. Netradicionnye i vozobnovlyaemye istochniki energii. 2019. S. 390–394.

6. Assessing the performance of the european natural gas network for selected supply disruption scenarios using open-source information / P. Lustenberger [et al.] // Energies. 2019. № 12 (24). DOI: 10.3390/en12244685

7. Dynamic probability assessment of urban natural gas pipeline accidents considering integrated external activities / X. Li [et al.] // Journal of loss prevention in the process industries. 2021. № 69. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104388

8. Hendrickson B., Gavelli F., Piekarz J. Too many or not enough? A methodology for evaluating fire and gas detector layouts at LNG facilities // Process safety progress. 2021. DOI: 10.1002/prs.12281.

9. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404 // MCHS Rossii. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/667> (data obrashcheniya: 27.12.2022).

10. Sklyarenko Z.A. Nezavisimaya ocenka pozharnogo riska (audit pozharnoj bezopasnosti) i deklarirovanie pozharnoj bezopasnosti // Buhgalterskij uchet v byudzhetnyh i nekommercheskih organizatsiyah. 2010. № 3 (243). S. 18–22.

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 10.02.2023; одобрена после рецензирования: 17.02.2023; принята к публикации: 10.03.2023

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

The article was submitted to the editorial office: 10.02.2023; approved after review: 17.02.2023; accepted for publication: 10.03.2023

#### *Информация об авторах:*

**Попова Юлия Ивановна**, студентка Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29), e-mail: [popova.yui@edu.spbstu.ru](mailto:popova.yui@edu.spbstu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3215-1896>

**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](mailto:dunkel@mail.ru)

**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](mailto:krutolapov75@list.ru)

#### *Information about the authors:*

**Popova Yulia I.**, student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnic str., 29), e-mail: [popova.yui@edu.spbstu.ru](mailto:popova.yui@edu.spbstu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3215-1896>

**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](mailto:dunkel@mail.ru)

**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](mailto:krutolapov75@list.ru)

---

---

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

---

---

Научная статья

УДК 614.78

## КАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК И СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ В СТОЧНОЙ ВОДЕ КАНАЛИЗАЦИИ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В 2011–2017 ГОДАХ

✉ **Иванов Антон Рубенович.**

**Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий  
и дизайна (институт технологии Высшей школы технологии и энергетики),**

**Санкт-Петербург, Россия**

✉ [ecologyrisk2012@mail.ru](mailto:ecologyrisk2012@mail.ru)

*Аннотация.* Сделана попытка оценить риск заболеваемости населения Санкт-Петербурга онкологическими расстройствами различных органов, связанный с присутствием в гидросфере тяжелых металлов и алюминия за 2011–2017 гг. В качестве метода для индикации содержания металлов использован мониторинг состояния сточных вод в городской канализации. Применен факторный анализ. Конечной целью исследования являлась оценка вклада в риск повышенной концентрации изученных металлов в сравнении с другими факторами канцерогенеза. Для этого были привлечены методы, взятые из концепции риска и теории вероятности. В результате рассчитаны сокращения ожидаемой продолжительности жизни под действием данного вредного фактора у населения. Проведено сопоставление полученных величин рисков с литературными данными для других стран за последние 20 лет. Найден весомый вклад этого фактора в канцерогенный риск.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, алюминий, риск, сокращение ожидаемой продолжительности жизни, заболеваемость, коэффициент корреляции, онкологические заболевания

**Для цитирования:** Иванов А.Р. Канцерогенный риск и содержание ионов некоторых металлов в сточной воде канализации города Санкт-Петербурга в 2011–2017 годах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 57–66.

Scientific article

## CARCINOGENIC RISK FOR HUMAN HEALTH AND THE CONCENTRATION OF CERTAIN METAL IONS IN WASTE WATER IN SAINT-PETERSBURG IN 2011–2017

✉ **Ivanov Anton R.**

**Saint-Petersburg state university of industrial technologies and design**

**(institute of technology of the Higher school of technology and energy), Saint-Petersburg, Russia**

✉ [ecologyrisk2012@mail.ru](mailto:ecologyrisk2012@mail.ru)

*Abstract.* An attempt has been made to establish a carcinogenic risk of some organs for the population of Saint-Petersburg, which connected with heavy metal and aluminum

concentrations in hydrosphere in 2011–2017. The monitoring these concentrations in wastewater of the city was indication method. The factor analysis was applied. The ultimate goal of the study was estimation of risk of impacts concentration of researched metals in compare with other carcinogenic factors. To achieve this, methods were taken from the concept of risk and Probability theory. As a result, the estimation loss of life expectancy under the influence of this harmful factor for the population was carried out. The risk values obtained were compared with the literature data for the regions of the other countries for the last 20 years. A significant contribution of this factor to the carcinogenic risk was found.

*Keywords:* heavy metals, aluminum, risk, loss of life expectancy, incidence, correlation coefficient, carcinogenic desists

**For citation:** Ivanov A.R. Carcinogenic risk for human health and the concentration of certain metal ions in wastewater in Saint-Peterburg in 2011–2017 // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 57–66.

## Введение

Формирование зоны чрезвычайной ситуации в мегаполисах часто обусловлено антропогенными выбросами опасных веществ в окружающую среду. Экспертами Всемирной организации здравоохранения признано: 25 % онкологических заболеваний являются экологически обусловленными [1–5]. Использование материалов и товаров бытовой химии, компоненты которых способствуют канцерогенезу, повышает онкологический риск. Отходы, возникающие при этом, поступают в канализацию. К ним относятся соединения алюминия и тяжелых металлов. Они представляют наибольшую опасность, поскольку эти металлы склонны к биоаккумуляции в пищевых цепях и в большей степени поражают концевые органы высшего порядка, которыми являются эмбрионы млекопитающих и дети, находящиеся на грудном вскармливании [3–5].

Цель данного исследования заключалась в проведении мониторинга содержания тяжелых металлов и алюминия в сточных водах канализации Санкт-Петербурга и выявлении среди них наиболее опасных в плане онкологической заболеваемости (ОЗ). Автор также поставил перед собой задачу: изучить взаимосвязь ОЗ населения и концентраций данных примесей, используя натурные эксперименты по стандартным методикам [6–8], а также литературные данные [9–21] в 2011–2017 гг., оценить создаваемый этими компонентами онкологический риск.

## Литературный обзор

В литературе [9–23] имеется большое количество данных, отражающих ситуацию с ОЗ и различными канцерогенными факторами. Однако следует учитывать как синергетические, так и взаимно подавляющие эффекты влияния примесей, содержащихся в водных средах при совместном действии. Тем не менее исследователи [1–24] отмечают взаимосвязь роста онкологической заболеваемости и повышения интенсивности хозяйственной деятельности. Имеются данные за 1980–1990 гг. в США [1, 22, 23]: в среднем по стране ОЗ составляла  $0,006 \text{ год}^{-1}$ , онкологический риск достигал 0,06725 и соответствующая ему величина сокращения ожидаемой продолжительности жизни LLE (loss of life expectancy) составила 2,69 лет. Автор [22] приводит метод для расчета уменьшения ожидаемой продолжительности жизни людей под влиянием вредных факторов, определяющих риск – «LLE» (loss of life expectancy):

$$\text{LLE} = (L_1 - L_2)\text{Risk}, \quad (1)$$

где  $L_1$  – средняя продолжительность жизни;  $L_2$  – средний возраст; Risk – риск.

Рассматривая риск как вероятностную величину, целесообразно вести его расчет, используя формулы вида [22–24]:

$$\text{Risk} = P \cdot Q, \quad (2)$$

где Risk – риск опасного воздействия;  $Q=t/24$  – отношение времени воздействия на субъект опасной примеси в часах за 1 сут, к 24 ч – мера ущерба (экспозиция):

$$P = c(c + C_M)^{-1}, \quad (3)$$

где P – вероятность интоксикации, отношение концентрации примеси к ее сумме с предельно допустимой концентрацией (ПДК), токсический эффект; c – концентрация компонента в окружающей среде;  $C_M$  – предельно допустимая концентрация в воде опасной примеси.

Таким образом, расчет риска с использованием ПДК сводится к вычислению вероятности ее превышения. Однако следует учитывать, что не всегда понятие «вероятность» достоверно отражает реальную картину вредного воздействия примесей на здоровье людей. Наиболее целесообразным, по мнению автора, является применение формулы вида (2) и (3), так как оценка риска в этом случае приводит к результату, отвечающему условию  $0 \leq \text{Risk} \leq 1$  [22, 23]. С другой стороны, необходимо выделить каким-то образом факторы риска, влияющие на ОЗ.

### Методики химического анализа

Отбор проб сточной воды производили в 35 различных точках во всех административных районах Санкт-Петербурга по стандартной методике [7] из колодцев городской канализации с последующим консервацией и хранением. Повторяемость отбора проб в одной точке составляла не менее трех раз. Фотометрическое определение ионов металлов в сточных водах проводили по стандартным методикам [25] на приборе КФК-3 с погрешностью менее 20,0 %. Спектрофотометрические исследования атомно-адсорбционным методом ионов металлов в сточных водах проводили по стандартным методикам [6–8] на приборе АА-7000 «Shimadzu» с погрешностью менее 37,0 %.

### Расчетная часть

Оценка канцерогенного риска совместного действия примесей была сделана по методике [25] на основании данных табл. 1–4 (определялись опасные компоненты по ОЗ), по приведенному ниже алгоритму:

$$\text{Risk}_c = P \times Q, \quad (4)$$

где

$$P = \frac{C(Cu^*) + C(Zn^*) + C(Pb^*) + C(Ni^*)}{C_M(Cu) + C_M(Zn) + C_M(Pb) + C_M(Ni) + C(Cu^*) + C(Zn^*) + C(Pb^*) + C(Ni^*)}, \quad (5)$$

$C(X)$  – концентрации компонентов, выбранных по результатам расчета (табл. 4), из табл. 1 как 1/10 приведенных (максимальных) значений, в мг/дм<sup>3</sup>;  $C_M(X)$  – предельно допустимые концентрации этих компонентов в сточной воде, мг/дм<sup>3</sup> [26]; принято  $Q=1/24$  (1 ч воздействия за 24 ч). Коэффициенты корреляции рассчитаны с помощью ресурса [27]. LLE рассчитаны по формуле (1). Продолжительность жизни в Санкт-Петербурге в 2010-х гг. была  $L_1=76$  лет, средний возраст –  $L_2=41$  год [28].

**Максимальные обнаруженные концентрации примесей (максимальная кратность превышения ПДК за год) в сточных водах Санкт-Петербурга в 2011–2017 гг.**

Примесь	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Fe [10–12, 14, 15]	15	12	7,8	–	2	4,9	–
Fe*	–	87,0	58,0	29,0	–	–	–
Cu [10–16]	12	6,3	9,4	3,1	1,5	5	3,7
Cu*	–	110,0	780,0	840,0	–	–	–
Zn [10–12, 14, 15]	5,9	2,9	4,9	–	2	5	–
Zn*	–	52,0	24,0	93,0	–	–	–
Mn [10–12, 14, 15]	22,3	10,4	12,4	–	1,9	6	–
Mn*	–	63,0	340,0	88,0	–	–	–
Pb [10–12]	2,2	1,0	1,7	–	–	–	–
Pb*	–	9,5	66,7	123,3	–	–	–
Cd [10–12]	2,1	1,2	2,2	–	–	–	–
Cd *	–	4,0	223,0	3,67	–	–	–
Hg*	–	8,7	412,0	1,0	–	–	–
Cr*	–	130,0	19,3	2,1	–	–	–
Ni*	–	0,77	24,3	46,7	–	–	–
Co*	–	0,0	10,0	2,2	–	–	–
Al*	–	42,5	50,0	5,5	–	–	–

*Примечание:* \* Проведенный автором эксперимент. Прочерк означает отсутствие данных

Таблица 2

**Численность населения Санкт-Петербурга и проявление некоторых онкологических заболеваний (D, заболеваемость, год<sup>-1</sup>) в 2011–2017 гг.**

Показатель	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Общая численность населения, млн чел. [28], N	4,926	4,991	5,028	5,132	5,19169	5,22569	5,281579
Общее число заболевших за год [16–21], N <sub>0</sub>	16 437	15 505	15 894	17 008	20 765	20 676	21 506
$D_0 = (N_0 / N) \cdot 10^6$	3336,8	3106,6	3161,1	3314,1	3999,7	3956,6	4071,9
Рак губы, число заболевших за год [16–21], N <sub>1</sub>	11	21	16	19	19	21	26
$D_1 = (N_1 / N) \cdot 10^6$	2,23	4,21	3,18	3,70	3,67	4,02	4,92
Рак трахеи, бронха, легкого, число заболевших за год [16–21], N <sub>2</sub>	380	1327	1261	1419	1504	1546	1901
$D_2 = (N_2 / N) \cdot 10^6$	77,14	265,9	250,8	276,5	289,7	295,9	359,9
Рак кожи (кроме меланомы), число заболевших за год [16–21], N <sub>3</sub>	1 380	1 462	1 434	1 665	2 087	2 036	2 205
$D_3 = (N_3 / N) \cdot 10^6$	280,2	292,9	285,2	324,4	402,0	389,61	417,5

Показатель	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Лица мужского пола, численность населения, млн чел. [28], $N_m$	2,214	2,252	2,280	2,328	2,345	2,361	2,390
Рак простаты, число случаев [16–21], $N_4$	833	839	918	1 089	1 353	1 308	1 373
$D_4=(N_4 / N_m) \cdot 10^6$	376,24	372,56	402,63	467,78	577,0	554,0	574,48
Лица женского пола, численность населения, млн чел. [28], $N_f$	2,712	2,738	2,748	2,804	2,846	2,846	2,892
Рак молочной железы, число случаев [16–21], $N_5$	2 152	2 314	2 156	2 583	2 740	2 842	2 866
$D_5=(N_5 / N_f) \cdot 10^6$	793,51	845,14	784,57	921,19	962,76	998,60	991,01

Таблица 3

**Коэффициенты линейной корреляции максимальной концентрации примеси и заболеваемости:**  
 $r_0$  – для общего числа заболевших;  $r_1$  – рак губы;  $r_2$  – рак трахеи, бронха, легкого;  
 $r_3$  – рак кожи, кроме меланомы;  $r_4$  – рак простаты;  $r_5$  – рак молочной железы

Примесь	Годы наблюдений	Число номеров	$r_0$	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$r_5$
Fe [10–16]	2011/17	5	-0,7776	-0,5786	-0,7649	-0,8714	-0,9065	-0,7681
	2011/13	3	<b>0,4992</b>	-0,4148	-0,7763	-0,5718	-0,8576	<b>0,2310</b>
Fe *	2012/14	3	-0,9644	<b>0,4951</b>	-0,4104	-0,7583	-0,9781	-0,5555
Cu [10–16]	2011/17	7	-0,5985	-0,7312	-0,8086	-0,7685	-0,7800	-0,8368
	2011/13	3	-0,7175	-0,4969	-0,9940	-0,9467	-0,6760	-0,9984
Cu*	2012/14	3	<b>0,7538</b>	-0,8235	-0,0267	<b>0,3998</b>	<b>0,7906</b>	<b>0,1390</b>
Zn [10–15]	2011/16	5	-0,2848	<b>0,6252</b>	-0,7168	-0,4552	-0,3865	-0,4021
	2011/13	3	<b>0,8845</b>	-0,9861	-0,8010	-0,9976	<b>0,8124</b>	-0,8912
Zn*	2012/14	3	<b>0,7830</b>	<b>0,9739</b>	<b>0,9841</b>	<b>0,4085</b>	<b>0,7457</b>	<b>0,9991</b>
Mn [10–15]	2011/16	5	-0,6650	0,8360	-0,9127	-0,8366	-0,8129	-0,8067
	2011/13	3	<b>0,9974</b>	-0,9251	-0,9963	-0,8832	-0,2508	-0,5176
Mn*	2012/14	3	-0,1848	-0,9063	-0,8754	-0,5878	-0,1276	-0,7835
Pb [10–12]	2011/13	3	<b>0,9245</b>	-0,9974	-0,7858	-0,9997	0,0326	-0,8446
Pb *	2012/14	3	<b>0,9636</b>	-0,4978	-0,3892	<b>0,7563</b>	<b>0,9775</b>	<b>0,8130</b>
Cd [10–12]	2011/13	3	<b>0,6141</b>	-0,8303	-0,3760	-0,8812	<b>0,6645</b>	-0,9990
Cd *	2012/14	3	-0,2675	-0,8682	-0,9125	-0,6529	-0,2093	-0,8323
Hg*	2012/14	3	-0,2801	-0,8606	-0,9185	-0,6642	-0,2240	-0,8405
Cr*	2012/14	3	-0,7858	<b>0,7940</b>	-0,0235	-0,4452	-0,8202	-0,1884
Ni*	2012/14	3	<b>0,9606</b>	-0,5074	<b>0,3973</b>	<b>0,7490</b>	<b>0,9751</b>	<b>0,5436</b>
Co*	2012/14	3	-0,0566	-0,9532	-0,8058	-0,4787	0,00131	-0,6968
Al *	2012/14	3	-0,9156	-0,1629	-0,8932	-0,9996	-0,8906	-0,9586

Примечание: \*Проведенный автором эксперимент

Оценка канцерогенной опасности примесей (по табл. 3)

Примесь	Годы наблюдений	Средний коэффициент корреляции	Взят для расчета (+)
Fe [10–16]	2011/17	-0,7798	–
	2011/13	-0,3105	–
Fe *	2012/14	-0,6343	–
Cu [10–16]	2011/17	-0,9047	–
	2011/13	-0,9659	–
Cu*	2012/14	<b>0,2055</b>	+
Zn [10–16]	2011/16	-0,2700	–
	2011/13	-0,4502	–
Zn*	2012/14	<b>0,8157</b>	+
Mn [10–16]	2011/16	-0,6396	–
	2011/13	-0,4293	–
Mn*	2012/14	-0,6938	–
Pb [10–12]	2011/13	-0,4451	–
Pb *	2012/14	<b>0,4372</b>	+
Cd [10–12]	2011/13	-0,3013	–
Cd *	2012/14	-0,7485	–
Cr*	2012/14	-0,2449	–
Ni*	2012/14	<b>0,5197</b>	+
Co*	2012/14	-0,5980	–
Al *	2012/14	-0,9641	–

### Результаты и их обсуждение

Учитывая многофакторность воздействий, приводящих к ОЗ, следует отметить, что стандартные методики с использованием фактора канцерогенного потенциала поллютанта предполагают для оценки результата алгебраическое сложение коэффициентов опасности для отдельных компонентов смеси [29]. Однако, по мнению автора, для оценки канцерогенного риска в гидросфере такой подход недостаточно корректен, поскольку может привести к результату, не отвечающему условию, необходимому для соответствия с вероятностной характеристикой понятия «риск» (см. выше). Кроме того, использование простого суммирования при вычислении индексов опасности предполагает аддитивность действия компонентов, что не всегда наблюдается. Таким образом, существуют неопределенности, связанные с незнанием механизмов взаимодействия компонентов смесей химических веществ или особенностей токсикокинетики и токсикодинамики при разных путях поступления вредного вещества в организм и при одновременном его поступлении различными путями [29]. Поэтому автор сделал следующие допущения: в гидросферу в основном поступают водорастворимые вещества, среди которых наибольшим фактором канцерогенного потенциала обладают соединения тяжелых металлов и алюминия; анализ коммунальных сточных вод преимущественно дает представление о водорастворимых канцерогенах кожного действия; результат комбинированного воздействия водорастворимых канцерогенов на организм человека отражает коэффициент линейной корреляции ОЗ и концентрации изучаемых примесей и его можно использовать в качестве критерия, аналогичного фактору канцерогенного потенциала в случае комбинированного действия; общий канцерогенный риск является в первом приближении суммой рисков действия нескольких факторов (ингаляционный, излучения и т.д.).

На основании измерений, проделанных автором, и литературных данных (табл. 1, 2) была сделана попытка оценить связь ОЗ и присутствия в окружающей среде (гидросфере) избыточных количеств тяжелых металлов и алюминия (табл. 3) с помощью формул (4) и (5). Величина рассчитанного таким способом канцерогенного риска достигала 0,0415 (LLE=1,453 лет). Оцененный автором канцерогенный риск, связанный только с присутствием

в окружающей среде токсичных металлов, на 38,3 % меньше, чем взятый для сравнения общий канцерогенный риск в США за 1980–1990 гг. [22, 23]. Это позволяет получить представление о значительном вкладе изученных примесей в формирование ОЗ. Для сравнения – онкологический ингаляционный риск в Санкт-Петербурге в 2000-е гг., рассчитанный в соответствии с известными методиками [29], обусловленный воздействием бенз(а)пирена, составлял  $2,32 \cdot 10^{-6}$  (LLE= $8,12 \cdot 10^{-5}$  лет) [23]. Для металлов, влияющих на ОЗ, по данным автора, в источнике [29] имеются сведения о факторе канцерогенного потенциала только для Pb и Ni, если использовать стандартные методики [24, 29] и данные [9–15], оцененные ингаляционные канцерогенные риски достигают 0,0044 (LLE=0,154 лет) и 0,11 (LLE=3,9 лет) соответственно, что демонстрирует неопределенность этой оценки риска [22–24].

### Заключение

По результатам расчетов наиболее опасными в плане канцерогенного риска являлись элементы: Cu, Zn, Pb, Ni (табл. 4) в Санкт-Петербурге в 2011–2017 гг., наибольшая корреляция наблюдалась для концентрации Zn с ОЗ (табл. 3), что позволяет его концентрацию использовать как прогностический показатель. Наибольшие концентрации в сточных водах городских колодцев – до 0,84 мг/дм<sup>3</sup> наблюдались для Cu. Полученный риск ОЗ является гипотетическим и дает завышенную оценку, так как она сделана с учетом показателя общей токсичности (ПДК). Однако сравнение результатов в этой группе загрязнителей [22, 23] позволяет сказать, что в Санкт-Петербурге в 2011–2017 гг. риск формирования зоны чрезвычайной экологической ситуации, обусловленный действием соединений рассмотренных металлов, дает значительный вклад в сравнении с другими факторами роста ОЗ.

### Список источников

1. Чаклин А.В. Злокачественные опухоли // Эпидемиология неинфекционных заболеваний / под ред. А.М. Вихерта, А.В. Чаплина. М.: Медицина, 1990. С. 142–195.
2. Основы аналитической токсикологии (каталог публикаций ВОЗ) / Р.А. Брейтуэйт [и др.]. М.: Медицина, 1997. 364 с.
3. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию. СПб.: Химия, 1999. 260 с.
4. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. СПб.: АО Дейта, 1997. 321 с.
5. Прусаков В.М., Прусакова М.В. Анализ динамики риска заболеваний от воздействия факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. 2006. № 1 М. С. 45–49.
6. М-02-2406–13. Определение элементов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках атомно-адсорбционным методом // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.10.2022).
7. ГОСТ 17.4.4.02–84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.10.2022).
8. ГОСТ Р 57162–2016. Вода. Определение содержания элементов методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.10.2022).
9. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2011 году / под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2012. 190 с.
10. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2012 году / под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2013. 168 с.
11. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2013 году / под ред. И.А. Серебрицкого. СПб.: ООО «Единый строительный портал», 2014. 173 с.

12. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2014 году / под ред. И.А. Серебрицкого. СПб.: ООО «Дитон», 2015. 180 с.
13. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2015 году / под ред. И.А. Серебрицкого. СПб.: ООО «Сезам-принт», 2016. 168 с.
14. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2016 году / под ред. И.А. Григорьева, И.А. Серебрицкого. СПб.: ООО «Сезам-принт», 2017. 158 с.
15. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2017 году / под ред. И.А. Серебрицкого. СПб.: ООО «Сезам-принт», 2018. 158 с.
16. Состояние онкологической помощи населению России в 2011 году / под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2012. 40 с.
17. Состояние онкологической помощи населению России в 2012 году / под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2013. 40 с.
18. Состояние онкологической помощи населению России в 2013 году / под ред. А.Д. Карпина, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2014. 45 с.
19. Состояние онкологической помощи населению России в 2015 году / под ред. А.Д. Карпина, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2016. 42 с.
20. Состояние онкологической помощи населению России в 2016 году / под ред. А.Д. Карпина, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2017. 42 с.
21. Состояние онкологической помощи населению России в 2017 году / под ред. А.Д. Карпина, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, 2018. 42 с.
22. Ваганов П.А. Человек. Риск. Безопасность. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2000. 384 с.
23. Фрумин Г.Т. Загрязнение атмосферного воздуха в городах России и риск здоровью // Экологическая химия. 2002. № 11 (2). С. 73–77.
24. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка. М.: ИКЦ Академкнига, 2004. 244 с.
25. Иванов А.Р. Физико-химические методы анализа в экологическом мониторинге воды и почвы: учеб. пособие. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. Ч. 2. 113 с.
26. Беспаятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: справочник. Л.: Химия, 1985. 267 с.
27. Уравнение регрессии. URL: <https://math.semestr.ru/corel/corel.php> (дата обращения: 25.02.2022).
28. Население Санкт-Петербурга // Сайт о странах и городах (статистика населения). URL: <http://www.statdata.ru/naselenie-sankt-peterburga-po-rajonam> (дата обращения: 26.02.2022).
29. Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

## References

1. Chaklin A.V. Zlokachestvennye opuholi // Epidemiologiya neinfekcionnyh zabolevanij / pod red. A.M. Viherta, A.V. Chaklina. M.: Medicina, 1990. S. 142–195.
2. Osnovy analiticheskoj toksikologii (katalog publikacij VOZ) / R.A. Brejtujet [i dr.]. M.: Medicina, 1997. 364 s.
3. Isidorov V.A. Vvedenie v himicheskuyu ekotoksikologiyu. SPb.: Himiya, 1999. 260 s.
4. Kiselev A.V., Fridman K.B. Ocenka riska zdorov'yu. SPb.: AO Dejta, 1997. 321 s.
5. Prusakov V.M., Prusakova M.V. Analiz dinamiki riska zabolevanij ot vozdejstviya faktorov okruzhayushchej sredy // Gigiena i sanitariya. 2006. № 1 M. S. 45–49.
6. М-02-2406–13. Opreделение elementov v pit'evoj, mineral'noj, prirodnoj, stochnoj vode i v atmosferynh osadkah atomno-adsorbcionnym metodom // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheckoj dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.10.2022).

7. GOST 17.4.4.02–84. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.10.2022).
8. GOST R 57162–2016. Voda. Opredelenie sodержaniya elementov metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii s elektrotermicheskoj atomizaciej // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.10.2022).
9. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Sankt-Peterburge v 2011 godu / pod red. D.A. Golubeva, N.D. Sorokina. SPb.: OOO«Sezam-Print», 2012. 190 c.
10. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Sankt-Peterburge v 2012 godu / pod red. D.A. Golubeva, N.D. Sorokina. SPb.: OOO«Sezam-Print», 2013. 168 c.
11. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Sankt-Peterburge v 2013 godu / pod red. I.A. Serebrickogo. SPb.: OOO «Edinyj stroitel'nyj portal», 2014. 173 c.
12. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Sankt-Peterburge v 2014 godu / pod red. I.A. Serebrickogo. SPb.: OOO «Diton», 2015. 180 c.
13. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Sankt-Peterburge v 2015 godu / pod red. I.A. Serebrickogo. SPb.: OOO «Sezam-print», 2016. 168 c.
14. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Sankt-Peterburge v 2016 godu / pod red. I.A. Grigor'eva, I.A. Serebrickogo. SPb.: OOO «Sezam-print», 2017. 158 c.
15. Doklad ob ekologicheskoy situacii v Sankt-Peterburge v 2017 godu / pod red. I.A. Serebrickogo. SPb.: OOO «Sezam-print», 2018. 158 c.
16. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2011 godu / pod red. V.I. Chissova, V.V. Starinskogo, G.V. Petrovoj. M.: MNIOI im. P.A. Gercena, 2012. 40 c.
17. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2012 godu / pod red. V.I. Chissova, V.V. Starinskogo, G.V. Petrovoj. M.: MNIOI im. P.A. Gercena, 2013. 40 c.
18. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2013 godu / pod red. A.D. Karpina, V.V. Starinskogo, G.V. Petrovoj. M.: MNIOI im. P.A. Gercena, 2014. 45 c.
19. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2015 godu / pod red. A.D. Karpina, V.V. Starinskogo, G.V. Petrovoj. M.: MNIOI im. P.A. Gercena, 2016. 42 c.
20. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2016 godu / pod red. A.D. Karpina, V.V. Starinskogo, G.V. Petrovoj. M.: MNIOI im. P.A. Gercena, 2017. 42 c.
21. Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2017 godu / pod red. A.D. Karpina, V.V. Starinskogo, G.V. Petrovoj. M.: MNIOI im. P.A. Gercena, 2018. 42 c.
22. Vaganov P.A. Chelovek. Risk. Bezopasnost'. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2000. 384 c.
23. Frumin G.T. Zagryaznenie atmosfernogo vozduha v gorodah Rossii i risk zdorov'yu // Ekologicheskaya himiya. 2002. № 11 (2). S. 73–77.
24. Alymov V.T., Tarasova N.P. Tekhnogennyj risk. Analiz i ocenka. M.: IKC Akademkniga, 2004. 244 s.
25. Ivanov A.R. Fiziko-himicheskie metody analiza v ekologicheskom monitoringe vody i pochvy: ucheb. posobie. SPb. : VSHTe SPbGUPTD, 2019. Ch. 2. 113 s.
26. Bespamyatnov G.P., Krotov Yu.A. Predel'no dopustimye koncentracii himicheskikh veshchestv v okruzhayushchej srede: spravochnik. L.: Himiya, 1985. 267 s.
27. Uravnenie regressii. URL: <https://math.semestr.ru/corel/corel.php> (data obrashcheniya: 25.02.2022).
28. Naselenie Sankt-Peterburga // Sajt o stranah i gorodah (statistika naseleniya). URL: <http://www.statdata.ru/naselenie-sankt-peterburga-po-rajonam> (data obrashcheniya: 26.02.2022).
29. R 2.1.10.1920–04. Rukovodstvo po ocenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii himicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchih okruzhayushchuyu sredu. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 15.11.2022; одобрена после рецензирования: 19.12.2022;  
принята к публикации: 18.01.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 15.11.2022; approved after review: 19.12.2022;  
accepted for publication: 18.01.2023

*Информация об авторах:*

**Иванов Антон Рубенович**, доцент кафедры общей и неорганической химии Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (институт технологии Высшей школы технологии и энергетики) (198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4), кандидат химических наук, e-mail: ecologyrisk2012@mail.ru

*Information about the authors:*

**Ivanov Anton R.**, associate professor of departments of general and inorganic chemistry of the Saint-Petersburg state university of industrial technologies and design (institute of technology of the Higher school of technology and energy) (198095, Saint-Petersburg, Ivan Chernykh str., 4), candidate of chemical sciences, e-mail: ecologyrisk2012@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13(1-21):621.43.06:504.3.064

## **МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ**

**Гавкалюк Богдан Васильевич;**

✉ **Ложкин Владимир Николаевич;**

**Смирнов Алексей Сергеевич.**

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

✉ **vnlojkin@yandex.ru**

*Аннотация.* К пожарным автомобилям при аварийном реагировании на чрезвычайные ситуации предъявляется комплекс требований обеспечения безопасности. Во многом эти требования, по природе реализации, являются противоречивыми, их выполнение осуществляется на компромиссной основе в зависимости от специфики достигаемых целей. Требование к эффективности устранения чрезвычайной ситуации вступает в противоречие с топливной экономичностью, сохранением технической надежности и конструктивной токсикологической безопасностью. В статье предлагается оригинальный подход решения данной проблемы на основе применения комплекса технических и технологических решений, научно обоснованных на междисциплинарной основе. Показано, что междисциплинарный подход обеспечивает реализацию положительных эмерджентных свойств пожарных автомобилей по целевым критериям безопасности в чрезвычайных ситуациях.

*Ключевые слова:* пожарный автомобиль, безопасность в чрезвычайных ситуациях, междисциплинарный научный подход

**Для цитирования:** Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Смирнов А.С. Междисциплинарный подход обеспечения безопасности пожарных автомобилей при реагировании на чрезвычайные ситуации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 67–73.

Scientific article

## **INTERDISCIPLINARY APPROACH TO ENSURING THE SAFETY OF FIRE VEHICLES IN EMERGENCY RESPONSE**

**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.* Fire trucks in emergency response to emergencies are subject to a set of safety requirements. In many ways, these requirements, by the nature of implementation, are contradictory, their implementation is carried out on a compromise basis, depending on the specifics of the goals being achieved. The requirement for efficiency in dealing with an emergency conflicts with fuel efficiency, maintaining technical reliability and constructive toxicological safety. The article proposes an original approach to solving this problem based on the application of a complex of technical and technological solutions scientifically substantiated on an interdisciplinary basis. It is shown that an interdisciplinary approach ensures the implementation of the positive emergent properties of fire trucks according to the target safety criteria in emergency situations.

*Keywords:* fire truck, emergency safety, interdisciplinary scientific approach

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

---

**For citation:** Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Smirnov A.S. An interdisciplinary approach to ensuring the safety of fire trucks in emergency response // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 67–73.

### Введение. Состояние проблемы

Основным противоречием, актуализировавшим тему исследования, явилось обострение внешней обстановки [1] и критическое по моральному износу состояние парка пожарных автомобилей (ПА), состоящих на эксплуатации в МЧС России (рис. 1). По опубликованным данным [2] к 2020 г. парк ПА имел не менее 40 % машин со сроком эксплуатации более 10–15 лет. Дизельные ПА составляли 62 %, бензиновые – 38 % [2] со значительной долей по отдельным территориально удаленным гарнизонам [1, 3] – карбюраторных. На 2020 г. доля закупок новых ПА от всего парка сохранялась малой – в объеме 3–4 % [2].

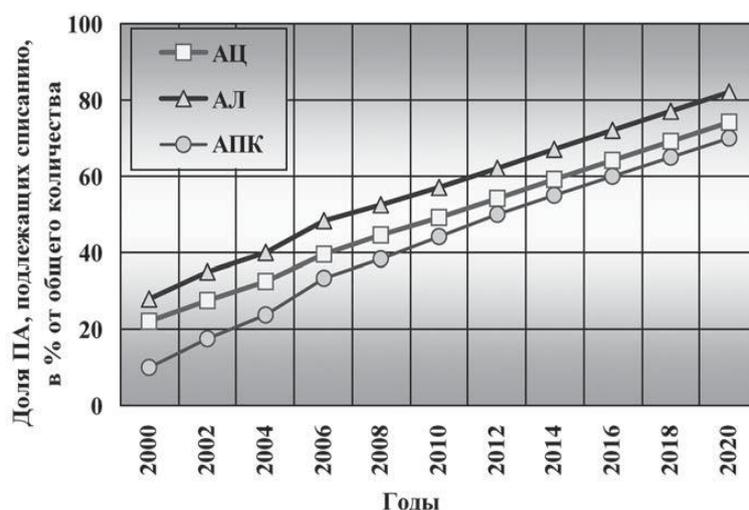


Рис. 1. Динамика изменения количества ПА, подлежащих списанию на 2020 г. [2]:  
 АЦ – пожарные автоцистерны; АЛ – пожарные автолестницы;  
 АПК – пожарные автоподъемники

Слабые темпы обновления парка современными многофункциональными пожарно-спасательными машинами (ПСМ) четвертого–пятого технологических поколений отечественных и зарубежных производителей [2, 3] после 2000 г. не смогли, по мнению авторов [2], переломить общую тенденцию его старения (на техническом языке «морального износа – технической деградации»): к 2018–2020 гг. сохранялась тревожная ситуация: парк ПА в среднем по Российской Федерации соответствовал 0 ... 1 экологическим классам [1, 4]. Это негативно сказывалось на соблюдении ими высоких экологических стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях (ЧС) для населения и личного состава [4] в местах непосредственного применения ПА [5].

Оперативная работа ПА по аварийному реагированию на ЧС специфична: за 15–20 и более лет эксплуатации ПА, в подавляющей своей части, не вырабатывают ресурс до капитального ремонта [2]. Благодаря специфике аварийного реагирования на ЧС и ответственному исполнению предписанных предприятиями – изготовителями ПА регламентов технического обслуживания (ТО) и планово-предупредительного ремонта (ППР), парк ПА МЧС России надежно обеспечивает и наращивает функциональную эффективность аварийного реагирования на ЧС. Так, быстрое действие аварийного реагирования на ЧС, оцениваемое по регламентированному параметру – времени прибытия пожарно-спасательных подразделений,

за 2004–2020 гг. сократилось в среднем по России с 18,9 до 6,4 мин, но сегодня этого уже недостаточно из экологических соображений соблюдения качества воздушной среды в местах интенсивной эксплуатации ПА [1, 3–10].

### Подходы, методы и результаты

Предлагаемый авторами научно-технический подход, апробированный многолетними изысканиями [1, 10], основан на разработке и внедрении в эксплуатацию ПА «прорывных» оригинальных методов и технологий безразборной диагностики отказов силовых установок ПА, экологически более приемлемых, менее пожароопасных водно-топливных микроэмульсий (ВТЭ) нового поколения и каталитических нейтрализаторов-глушителей шума (КН) отработавших газов (ОГ).

Универсальным способом повышения оперативно-боевых технических и экологических свойств эксплуатируемого парка ПА является внедрение вместе с действующей системой ППР и ТО безразборной диагностики. Методология диагностирования отказов по анализу состава ОГ развивается авторами по двум дисциплинарным направлениям: детерминированном, использующем фундаментальные (универсальные) физические законы, и вероятностно-статистическом, использующем эмпирические закономерности (модели), полученные путем математической обработки экспериментальных данных.

Метод на основе детерминированных уравнений термохимии горения позволяет [1] последовательно, с корректировкой объема ОГ при окислении водорода топлива, «связывания» кислорода воздуха в продуктах его неполного окисления и учета его «физического и химического недожога» в форме образующихся частиц сажи  $PM_{2,5}$  минимизировать погрешности оценок (диагностирования) удельной цикловой подачи топлива на всех эксплуатационных режимах работы силовой установки ПА в эксплуатации.

Другой метод (эмпирический) основан на установленной и подтвержденной широчайшими стендовыми испытаниями гипотезе о существовании устойчивой вероятностно-статистической закономерности между дымностью ОГ, измеряемой на режиме «свободного ускорения» по методике [4], и часовым расходом топлива силовой установки, эксплуатируемой в характерной для ПА области нагрузок и частоты вращения коленчатого вала.

В целях удобства пользования эмпирической закономерностью в эксплуатационной практике для силовых установок 4Ч; 4ЧН 11.0/12.5 (моделей Д-240, Д-240Т, Д-263 [9]) ПА была получена диаграмма (рис. 2).

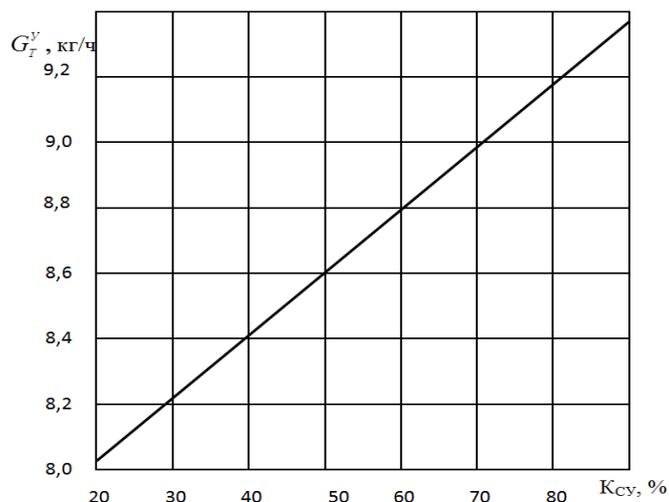


Рис. 2. Зависимость часового расхода топлива  $G_T^y$  от дымности на режиме «свободного ускорения»  $K_{Cy}$

Применение разработанных методов контроля топливных показателей (удельной цикловой подачи и часового расхода топлива) дают возможность за счет своевременного выявления и устранения технических причин отказов только по нарушениям регулировок топливных систем поршневых двигателей [1, 6, 8, 9] получить не менее 12 % резерва дорогостоящих на сегодняшний день горюче-смазочных материалов.

К силовым установкам эксплуатируемого парка ПА сегодня предъявляются требования многопливности, декарбонизации, санитарной (токсичность ОГ) и пожарной (например, участвовавшая за последние 15 лет, возгорание топливно-каталитических агрегатов) безопасности организации комбинированного рабочего процесса, включая ультрасовременные двигатели с «*common rail system*», «*CRT system*» (окислительный катализ с фильтрацией сажи), «*SCR system*» (селективный катализ  $\text{NO}_x$ ) [6, 7, 9–11] и т.д. Для удовлетворения отмеченным требованиям авторами предлагается использовать в эксплуатации ПА разработанные технологии «обратных» ВТЭ нового поколения.

Фундаментальными теоретическими и экспериментальными исследованиями была доказана эффективность ВТЭ оригинальных составов в отношении ингибирования до 40 % выхода с ОГ опаснейших оксидов азота (рис. 3) и канцерогенных твердых частиц сажи  $\text{PM}_{2,5}$  – до 70–80 % [1]. Как оборудование, так и технологии приготовления ВТЭ оптимального химического состава доведены до стадии промышленного освоения путем 100 % импортозамещения.

Достижение требуемых результатов эффективности внедрения в эксплуатацию всего предлагаемого комплекса технических и технологических оригинальных решений не потребовало вносить изменений в конструкцию как двигателя, так и штатной (серийной) топливной аппаратуры (ТА) силовых установок ПА, поскольку необходимое в случае применения ВТЭ увеличение объемной подачи, по сравнению с дизельным топливом, обеспечивается за счет предусмотренного в конструкции ТА резерва цикловой подачи топлива. Этот резерв предусматривается заводом-изготовителем силовой установки ПА для обеспечения надежного пуска при низких температурах окружающего воздуха.

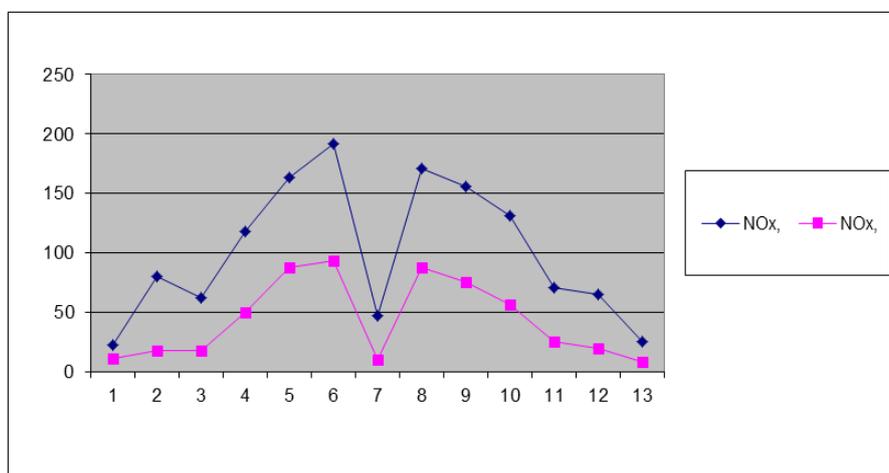


Рис. 3. Уменьшение эмиссии с ОГ  $\text{NO}_x$  при работе двигателя Д21А1 на ВТЭ (в сравнении с дизельным топливом ДТ – 13-ти режимный нагрузочный цикл [4])

### Заключение

В рамках общей междисциплинарной концепции повышения безопасности ПА в условиях аварийного реагирования на ЧС природного и техногенного характера была достигнута методологическая цель, а именно реализация взаимного слияния (органического синтеза) двух направлений исследований, направленных на контроль токсического ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,

NO<sub>x</sub>, дымность) воздействия ОГ силовых установок ПА на население и личный состав в местах эксплуатации ПА. Это – детерминированный подход, основанный на фундаментальных (универсальных) законах и вероятностно-статистический подход, основанный на математической обработке данных экспериментов.

Таким образом, путем перенесения рациональных идей и положительных научных результатов из одной дисциплинарной области в другую и наоборот была изучена актуальная техническая проблема конструктивной безопасности ПА и сформирована единая научная платформа обеспечения экологической безопасности силовых установок ПА.

Реализация оригинальной научной платформы позволила компромиссно решить противоречивую задачу – эффективно безаварийно устранять последствия ЧС, обеспечивая при этом требуемые нормативы по топливной экономичности, сохранения технической надежности и конструктивной токсикологической безопасности силовой установки ПА согласно требованиям постановления Правительства Российской Федерации от 15 июня 2022 г. № 1269 [4].

### Список источников

1. 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.
2. Проблемы возрастного состава пожарных автомобилей / А.И. Пичугин [и др.] // Пожарная безопасность. 2019. № 4 (97). С. 87–94.
3. 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.
4. 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: 18.11.2022).
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: 18.11.2022).
6. 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 p. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
7. Wik C. Tier III technology development and its influence on ship installation and operation // CIMAC Congress. 2013. № 159. 11 p.
8. Куколев М.И., Кукис В.С., Вильдяева С.Н. Обобщенная методика оценки режимов работы теплового накопителя // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 2. С. 169–172.
9. 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.
10. 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.
11. 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.2017.01.067.1.

## References

1. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. O nauchno-tehnicheskoy strategii uluchsheniya ekologicheskikh harakteristik pozharnykh avtomobilej na sovremennom etape // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 4 (64). S. 73–79.
2. Problemy vozrastnogo sostava pozharnykh avtomobilej / A.I. Pichugin [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2019. № 4 (97). S. 87–94.
3. Sacuk I.V. Zakonomernosti raspredeleniya i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemykh pozharnykh avtomobilej po pokazatelyam konstruktivnoj bezopasnosti silovykh ustanovok // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2022. № 2. S. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.
4. O vnesenii izmenenij v Pravila primeneniya obyazatel'nykh trebovanij v otnoshenii otdel'nykh kolesnykh transportnykh 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: 18.11.2022).
5. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2018 godu: gos. doklad Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii. URL: <https://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/821/%D0%93%D0%94-2018.pdf> (data obrashcheniya: 18.11.2022).
6. 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 p. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
7. Wik C. Tier III technology development and its influence on ship installation and operation // CIMAC Congress. 2013. № 159. 11 p.
8. Kukolev M.I., Kukis V.S., Vil'dyaeva S.N. Obobshchennaya metodika ocenki rezhimov raboty teplovogo nakopitelya // Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2013. № 2. S. 169–172.
9. 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.
10. 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.
11. 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.2017.01.067.1.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 20.02.2023; одобрена после рецензирования: 28.02.2023;  
принята к публикации: 06.03.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 20.02.2023; approved after review: 28.02.2023;  
accepted for publication: 06.03.2023

*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, 614.8.084

## **ПУТИ СОЗДАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ РАЗЛИВАХ ТОКСИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

✉ Дадашов Ильгар Фирдоси оглы.

Академия МЧС Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджан.

Мусаев Магомед Эльчин оглы.

Азербайджанский университет архитектуры и строительства;

Академия МЧС Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджан.

Дорошенко Станислав Иванович.

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

✉ [ilgardadashov.69@gmail.com](mailto:ilgardadashov.69@gmail.com)

*Аннотация.* На основе анализа существующих методов тушения горючих жидкостей и ликвидации разливов токсичных жидкостей сформулированы общие требования к универсальному средству для предотвращения испарения токсичных жидкостей и тушения пожаров класса «В». Рассмотрены основные факторы, влияющие как на тушение жидкостей, так и на снижение концентрации токсичных жидкостей в воздухе. В качестве таких факторов выделены: плавучесть, изолирующие и охлаждающие свойства, а также стойкость к разрушению соответствующих средств. Предложена оценочная шкала влияния выбранных факторов на комплексный показатель эффективности выбранного средства. На основании предложенной шкалы рассчитаны численные значения комплексного показателя эффективности рассматриваемых средств. В качестве универсального средства для тушения и ликвидации разливов горючих и токсичных жидкостей предложено рассмотрение воздушно-механических и быстротвердеющих пен и средств на основе легких сыпучих материалов с дополнительным нанесением слоя геля. Для окончательного выбора универсального средства для тушения и ликвидации разливов горючих и токсичных жидкостей необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований их огнетушащих и изолирующих характеристик, а также учет экологических и экономических параметров.

*Ключевые слова:* тушение жидкостей, ликвидация разливов токсичных жидкостей, воздушно-механические пены, быстротвердеющие пены, легкие сыпучие материалы, гелеобразующие системы, комплексный показатель эффективности

**Для цитирования:** Дадашов И.Ф., Мусаев М.Э., Дорошенко С.И. Пути создания универсального средства для ликвидации чрезвычайных ситуаций при разливах токсичных жидкостей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 74–82.

Scientific article

## WAYS TO CREATE A UNIVERSAL TOOL FOR EMERGENCY RESPONSE IN CASE OF SPILLS OF TOXIC LIQUIDS

✉ **Dadashov Ilgar F.****Academy of EMERCOM of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan.****Musayev Mehemmed E.****Azerbaijan university of architecture and construction;****Academy of EMERCOM of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan.****Doroshenko Stanislav I.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**✉ *ilgardadashov.69@gmail.com*

*Abstract.* Based on the analysis of existing methods for extinguishing flammable liquids and eliminating the spillage of toxic liquids, general requirements for a universal substance for preventing the vaporization of toxic liquids and extinguishing class «B» fires have been formulated. For this, the main factors affecting both the extinguish of liquids and decrease the concentration of toxic liquids in the air are considered. Such factors as buoyancy, insulating and cooling properties, as well as resistance to destruction of the corresponding means, are distinguished. An evaluation scale of the influence of the selected factors on the complex indicator of the effectiveness of the selected tool is proposed. Based on the proposed table, the numerical values of the complex indicator of the effectiveness of the investigated substances were calculated. It is proposed to consider the application of air-mechanical and fast-setting foams, light bulk materials and additionally a gel layer as a universal means of extinguishing flammable and toxic liquids and eliminating spills. As a final choice as a universal means of extinguishing and preventing vaporization of toxic and flammable liquids, additional theoretical and experimental studies should be conducted, taking into account their fire extinguishing and insulation properties, as well as ecological and economic parameters.

*Keywords:* extinguishing liquids, prevent the spread of toxic liquids, air-mechanical foams, fast-setting foams, light bulk materials, gelling systems, complex indicator of efficiency

**For citation:** Dadashov I.F., Musayev M.E., Doroshenko S.I. Ways to create a universal tool for emergency response in case of spills of toxic liquids // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 74–82.

### Введение

В настоящее время в обороте находятся тысячи жидкостей. Большинство из них проявляют опасные свойства. Основные виды опасностей жидкостей обусловлены их горючестью и токсичностью. С ними регулярно возникают аварийные ситуации, приводящие к пожарам и попаданию в окружающую среду токсичных жидкостей (ТЖ) [1–2]. Для Азербайджана как страны с развитыми нефте- и газодобычей и высоким уровнем химической индустрии существует повышенная вероятность возникновения аварий, связанных с опасными свойствами жидкостей [3].

Пожары, в которых основным горючим веществом являются жидкости, классифицируются как пожары класса «В». Тушение таких пожаров является одной из сложнейших задач подразделений МЧС Республики Азербайджан. Они во многих случаях характеризуются большой продолжительностью, потребностью в привлечении большого количества сил и средств пожаротушения [4].

Горение жидкостей это сложный многостадийный процесс. Первой стадией этого процесса является переход из жидкого состояния в газообразное. В большинстве случаев процесс испарения является лимитирующей стадией горения жидкостей. В случаях химических аварий с разливом ТЖ на начальном этапе аварии основной задачей

подразделений МЧС является предотвращение формирования облака зараженного воздуха и недопущение его распространения в атмосфере [5]. Поступление токсичных паров в окружающую среду обусловлено испарением ТЖ.

Таким образом, можно констатировать, что как в случае горения жидкостей, так и в случае формирования облака токсичных паров определяющей стадией является процесс испарения жидкости. Это позволяет сделать вывод, что для борьбы с пожарами класса «В» и разливами ТЖ целесообразно создать универсальное средство для ликвидации соответствующих ситуаций [6].

### **Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Существует большое количество методов тушения горючих жидкостей (ГЖ). Среди них можно отметить следующие: различные виды огнетушащих пен, распыленная вода и водные составы, эмульсии и суспензии, порошковые средства, аэрозоли, твердая углекислота, газы-разбавители, газообразные ингибиторы горения. Наиболее эффективным из них являются воздушно-механические пены, в которых доминирующим механизмом прекращения горения является изоляция. Однако огнетушащие пены имеют ряд существенных недостатков. Основной из них – невысокая стойкость пены на поверхности жидкости.

Существенным развитием метода пенного пожаротушения является разработка быстротвердеющих пен (БТП) [7–9]. Данная пена получается в процессе гидродинамического перемешивания нескольких жидких компонентов, хранящихся отдельно друг от друга, с последующим вспениванием. БТП обладает рядом уникальных для огнетушащих веществ характеристик: высокая термостабильность, высокая адгезия, высокая экологичность. Авторами разработанной БТП также предложено использовать ее как изолирующее средство для локализации разливов ТЖ. Особенностью этих работ является отсутствие подробного описания технологии получения таких пен.

Аналогичная идея получения БТП на основе неорганических веществ была предложена в работе [10]. Для обеспечения потери текучести авторами предложено использовать явление гелеобразования. При этом были отобраны ряд гелеобразующих систем, которые были ранее предложены для тушения пожаров класса «А» [11]. Особенностью рассматриваемого цикла работ является достаточно подробное описание технологии получения БТП. В данных работах БТП были предложены как средство предотвращения испарения разливов ТЖ. Огнетушащие параметры БТП не исследовались. Однако высокие изолирующие свойства и стойкость таких пен позволяют предположить возможность использования их и для тушения ГЖ.

Из новых средств тушения жидкостей можно особо отметить огнетушащие системы на основе легких сыпучих материалов с дополнительным нанесением слоя геля [12]. В качестве сыпучего материала обосновано применение дробленого или гранулированного пеностекла (ПС). Особо отмечается, что слой ПС обладает неограниченной во времени стойкостью, а слой геля начинает разрушаться через сутки. Изолирующие свойства такой системы превышают изолирующие свойства воздушно-механических пен (ВМП). Недостатком огнетушащих систем «ПС + гель» является необходимость в использовании трех отдельных огнетушащих веществ (ОВ) и трех отдельных средств их подачи. В связи с высокими изолирующими свойствами можно предположить перспективность такого вида систем и как средства тушения ГЖ, и как средства изоляции разливов ТЖ.

Кроме отмеченных выше методов тушения жидкостей можно использовать средства тушения с доминирующим охлаждающим механизмом прекращения горения: распыленная вода и твердая углекислота (сухой лед). Так как охлаждение жидкости уменьшает скорость ее испарения, эти средства можно применять и для ликвидации разливов ТЖ. Вода в таком случае будет проявлять свои охлаждающие свойства только в случае разливов нагретых жидкостей. Но для воды возможен еще один механизм уменьшения скорости испарения ТЖ – разбавление жидкой фазы нетоксичной жидкостью.

Для ликвидации разливов ТЖ предложено большое количество методов [13]: постановка водяных завес, рассеяние облака при помощи тепловых потоков, постановка жидкостных завес с использованием нейтрализующих растворов, рассеяние облака воздушно-газовыми потоками, обвалование пролива, засыпка разлива сыпучими сорбентами, снижение интенсивности испарения покрытием зеркала разлива ТЖ пеной или полимерной пленкой, разбавление ТЖ водой, введение в жидкую фазу загустителей, охлаждение жидкости криогенными материалами, засыпка твердыми сорбентами с последующим выжиганием, загущение ТЖ с последующим вывозом и утилизацией.

Таким образом, можно заключить, что в настоящее время существует ряд средств, которые возможно использовать как для тушения пожаров класса «В», так и как средства предотвращения испарения ТЖ. Актуальным является выбор универсального средства, которое бы в наибольшей степени учитывало потребности двух отмеченных задач.

Наиболее универсальным из этих методов является использование изолирующих пен. В настоящее время изоляцию поверхностей ТЖ производят не специально разработанными для этих целей пенами, а разными видами огнетушащих пен.

### **Постановка задачи**

Наметить пути создания средства, которое можно использовать как для тушения пожаров ГЖ, так и для локализации разливов ТЖ. Для этого на первом этапе необходимо решить следующие задачи:

1. Сформулировать общие требования к универсальному средству для предотвращения испарения ТЖ и тушения пожаров класса «В».
2. Выявить основные факторы, влияющие на функциональные свойства средств для предотвращения испарения ТЖ и тушения пожаров класса «В».
3. Разработать количественную шкалу для оценки вклада выбранных факторов в комплексный показатель эффективности выбранного средства.
4. Для существующих средств рассчитать численное значение комплексного параметра эффективности рассматриваемых средств.
5. На основании численного значения комплексного показателя эффективности отобрать средства для предотвращения испарения ТЖ и тушения ГЖ для дальнейшего изучения.

### **Решение поставленной задачи**

В связи с тем, что как в случае горения жидкостей, так и в случае формирования облака токсичных паров определяющей стадией является процесс испарения жидкости, универсальное средство борьбы с этими ситуациями должно замедлить данный процесс. Этого можно добиться охлаждением жидкости или изоляцией ее поверхности. Средство изоляции должно обладать положительной плавучестью и высокой стойкостью. В большинстве случаев при разливе ТЖ температура жидкости близка к температуре окружающей среды. Поэтому в таком случае для реализации эффекта охлаждения изолирующее средство должно подаваться в охлажденном виде, что существенно усложняет процесс ликвидации разлива жидкости. Еще одним общим требованием к средствам тушения и ликвидации разливов ГЖ и ТЖ является их негорючесть и термическая и химическая стойкость.

При выборе универсального средства тушения и ликвидации разливов ГЖ и ТЖ необходим учет большого количества факторов, влияющих на их функциональные характеристики. В качестве факторов, влияющих на процессы тушения и испарения ГЖ и ТЖ, приняты к рассмотрению: плавучесть, изолирующие свойства, охлаждающее действие, стойкость изолирующего слоя, разбавляющее действие газовой фазы, экологические и экономические параметры. Эти характеристики оценивались на основании анализа работ [10–12, 14, 15].

Для сравнительной оценки эффективности выбранных средств предлагается использовать количественную шкалу. Для каждого фактора предлагается оценка по четырехбальной шкале:

- 0 – отсутствие вклада;
- 1 – низкое значение вклада;
- 2 – среднее значение вклада;
- 3 – высокое значение вклада.

Сумма вкладов по всем факторам дает комплексный показатель эффективности выбранного средства.

Комплексный показатель эффективности рассчитывался отдельно для средств тушения ГЖ и средств ликвидации разливов ТЖ. На предварительном этапе проведено исключение из рассмотрения средств, которые невозможно одновременно использовать как средства тушения ГЖ и ликвидации разливов ТЖ. Так были исключены из рассмотрения следующие средства тушения ГЖ: порошковые средства, аэрозоли, газы-разбавители, газообразные ингибиторы горения.

Из средств и методов борьбы с разливами ТЖ исключены из рассмотрения: постановка жидкостных завес, рассеяние облака при помощи тепловых потоков, рассеяние облака воздушно-газовыми потоками, покрытие зеркала разлива ТЖ полимерной пленкой, заливка нейтрализующим раствором, засыпка твердыми сорбентами с последующим выжиганием, загущение ТЖ с последующим вывозом и утилизацией. Все эти методы борьбы с разливами ТЖ непригодны для тушения жидкостей.

Таким образом, в списке рассматриваемых средств остаются: ВМП, БТП, распыленная вода, сочетание легких сыпучих материалов с гелеобразными слоями и твердая углекислота. Ниже рассмотрим вклад выбранных факторов на процессы тушения ГЖ и ликвидации разливов ТЖ для отмеченных выше средств.

Плавуемость и изолирующие свойства ВМП, БТП и систем «ПС+Гель» высокие как для случая тушения, так и в случае борьбы с разливами ТЖ [10, 12, 14, 15]. Плавуемость сухого льда оценена как низкая, так как в большинстве жидкостей он тонет, а в некоторых он всплывает благодаря интенсивному выделению газа. В случае тушения охлаждающее действие ВМП, БТП и систем «ПС+Гель» имеет среднее значение, а для распыленной воды и сухого льда высокое. В случае изоляции разливов ТЖ высокое охлаждающее действие присуще только для сухого льда, так как температура ТЖ близка к температуре окружающей среды, а температура сухого льда составляет  $-79^{\circ}\text{C}$ .

По стойкости покрытия БТП и система «ПС+Гель» согласно литературным данным превосходит ВМП [10-12, 14, 15]. Разбавляющее действие газовой фазы в целом вносит небольшой вклад как в случае тушения ГЖ, так и при борьбе с разливами ТЖ. Преимущество по этому параметру имеет сухой лед, благодаря интенсивному газовыделению при контакте с жидкостью.

При оценке экологических параметров учтено, что в состав БТП, как и других пенных средств, входят пенообразователи (ПО). Однако для получения БТП не используют пленкообразующие ПО, что повышает их экологические характеристики. Кроме того, отмечается более высокая стойкость БТП, что обеспечивает меньшие расходы экологически опасных веществ на тушение пожаров и ликвидацию разливов ТЖ. В состав средств «ПС+Гель» не входят ПО, а входят мало и умеренно опасные вещества в небольших количествах.

При оценке экономических параметров БТП нужно принять во внимание в качестве положительного фактора существенно меньший массовый расход веществ. В качестве отрицательной характеристики БТП - использование дополнительных компонентов, обеспечивающих процесс гелеобразования. Технические средства подачи БТП более сложны из-за необходимости смешения двух компонентов гелеобразующей системы (ГОС). Это также усложняет эксплуатацию генераторов БТП, так как при нештатных режимах работы

возможно образование геля в камере смешения. Это позволяет сделать заключение о более низких экономических параметрах БТП по сравнению с параметрами ВМП. Хотя окончательно вопрос об экономичности БТП можно будет решить после уточнения расхода БТП на ликвидацию пожара или разлива ТЖ. Согласно данным, приведенным в работе [12], расходы на вещества, используемые в системе «ПС+Гель», меньше, чем в случае пен. Однако средства подачи более сложные. Низкие экономические параметры сухого льда заключаются в необходимости постоянной работы холодильного оборудования при его хранении.

В табл. 1, 2 приведены оценки степени влияния выбранных факторов на процессы тушения ГЖ и на борьбу с разливами ТЖ.

Таблица 1

### Вклад выбранных факторов на процессы тушения ГЖ

Фактор	Средства тушения ГЖ				
	Пены	БТП	Распыленная вода	ПС + гель	Сухой лед
Плавучесть	3	3	0	3	1
Изоляция	3	3	0	3	0
Охлаждение	2	2	3	2	3
Стойкость	2	3	0	3	0
Разбавление	1	1	2	1	2
Экологические параметры	2	2	3	2	3
Экономические параметры	2	2	3	2	1
Суммарная эффективность	15	16	11	16	10

Таблица 2

### Вклад выбранных факторов на борьбу с разливами ТЖ

Фактор	Средства ликвидации разливов ТЖ				
	Пены	БТП	Распыленная вода	ПС + гель	Сухой лед
Плавучесть	3	3	0	3	1
Изоляция	3	3	0	3	0
Охлаждение	1	1	1	1	3
Стойкость	2	3	0	3	0
Разбавление	1	1	1	1	2
Экологические параметры	2	2	3	2	3
Экономические параметры	2	2	3	2	1
Суммарная эффективность	14	15	8	15	10

Из приведенных в табл. 1 и 2 результатов можно заключить, что суммарный целевой оценочный параметр эффективности средств тушения ГЖ и ликвидации разливов ТЖ высокий для ВМП и БТП, а также для систем «ПС+гель». Для сухого льда и распыленной воды оценочный параметр эффективности заметно уступает выше отмеченным средствам как в случае тушения ГЖ, так и при борьбе с разливами ТЖ. Для окончательного выбора наиболее эффективного средства тушения ГЖ и ликвидации разливов ТЖ необходимо проведение исследований для БТП и средств «ПС+гель».

Здесь необходимо учитывать, что выбранный целевой параметр является субъективной оценкой эффективности. Из трех отобранных средств одно относится к широко распространенному средству тушения пожаров класса «В» (ВМП). Одновременно пены рекомендованы как средство изоляции разливов ТЖ. Для оценки его можно использовать метод экспертной оценки. Два других выбранных средства относятся к новым (БТП и средства на основе легких сыпучих материалов с дополнительным нанесением слоя геля). Они не известны большинству практических специалистов. Это не позволяет использовать метод экспертных оценок.

### Выводы

1. Универсальное средство для предотвращения испарения ТЖ и тушения пожаров класса «В» должно обеспечивать охлаждение поверхности жидкости и (или) ее изоляцию, а также обладать положительной плавучестью, высокой термической и химической стойкостью.
2. В качестве факторов, влияющих на процессы тушения ГЖ и испарения ТЖ, приняты к рассмотрению: плавучесть, изолирующие свойства, охлаждающее действие, стойкость изолирующего слоя и разбавляющее действие газовой фазы.
3. Впервые предложена количественная четырехбальная шкала для оценки вклада выбранных факторов в комплексный показатель эффективности выбранного средства.
4. Для рассматриваемых средств тушения ГЖ и ликвидации разливов ТЖ рассчитаны численные значения комплексного показателя эффективности.
5. На основании численного значения целевого параметра эффективности отобраны средства для предотвращения испарения ТЖ и тушения пожаров класса «В», для дальнейшего рассмотрения выбраны следующие средства: ВМП, БТП и сочетание легких сыпучих материалов с гелеобразными слоями.

### Список источников

1. Fires at outside storage tanks // Report National fire protection association. 2014. August. URL: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports> (дата обращения: 11.09.2022).
2. Hylton J.G. US fire department profile // Report: NFPA's. April. 2017. P. 39. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf> (дата обращения: 11.09.2022).
3. Иманов Р.Н., Мамедова С.И., Бирюк В.А. // Проблемы оценки риска возникновения аварий на резервуарных парках нефтеперерабатывающих предприятий республики Азербайджан // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. 2018. № 8. С. 152-157.
4. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / А.Ф. Шароварников [и др.]. М.: Калан, 2002. 448 с.
5. Изучение влияния токсических веществ на организм / З.Б. Есимсиитова [и др.] // Вестник КазНМУ. 2018. № 1. 287 с.
6. Мусаев М.Е., Дадашов И.Ф. Разработка единого средства для предотвращения испарения токсичных жидкостей и тушения пожаров класса «В» // Engineering mechanics. 2021. № 3-4. P. 115-123.
7. Абдурагимов И.М., Куприн Г.Н. Инновационные технологии взрывопожаропредотвращения на критически важных объектах ТЭК РФ, в том числе с помощью быстротвердеющих пен на основе структурированных частиц кремнезема // Корабел.Ру. 2015. Вып. 4 (30). С. 131–136.
8. Silica foams for fire prevention and firefighting / A.V. Vinogradov [et al.] // ACS (American Chemical Society). Applied materials & interfaces. 2016. Vol. 8 (1). P. 294-301.

9. Абдурегимов И.М., Куприн Г.Н., Куприн Д.С. Механизм огнетушащего действия быстротвердеющих пен на основе структурированных частиц кремнезема // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2016. № 4. С. 50-56.
10. Lifetime research of rapid-hardening foams / R. Pietukhov [et al.] // *Problems of emergency situations*. 2020. № 31. P. 226–233.
11. Абрамов Ю.А., Киреев А.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса «А». Харьков: НУГЗУ, 2015. 254 с.
12. Гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами: монографія / І.Ф. Дадашов [и др.]. Харків: НУЦЗУ, 2021. 235 с.
13. Бариев Э.Р. Чрезвычайные ситуации с химически опасными веществами. Минск: ИВЦ Минфина, 2008. 256 с.
14. Дослідження ізолюючих властивостей пін швидкого твердіння / Р.А. Петухов [и др.] // *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2021. № 1 (33). С. 84–91.
15. Мусаев М.Е., Дадашов И.Ф. Исследование плавучести и стойкости быстротвердеющих пен, предназначенных для предотвращения испарения токсичных жидкостей и тушения пожаров класса «В» // *Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и охраны труда*: сб. трудов XXXII Междунар. науч.-практ. конф. «Предотвращение. Спасение. Помощь». Химки: АГЗ МЧС России. 2022. С. 79–86.

### References

1. Fires at outside storage tanks // Report National fire protection association. August. 2014. URL: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports> (data obrashcheniya: 11.09.2022).
2. Hylton J.G. US fire department profile // Report: NFPA's. April. 2017. P. 39. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics/Fire-service/osfdprofile.pdf> (data obrashcheniya: 11.09.2022).
3. Imanov R.N., Mamedova S.I., Biryuk V.A. // Problemy ocenki riska vzniknoveniya avarij na rezervuarnyh parkah neftepererabatyvayushchih predpriyatij respubliky Azerbajdzhan // *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*. 2018. № 8. S. 152–157.
4. Tushenie pozharov nefiti i nefteproduktov / A.F. Sharovarnikov [i dr.]. M.: Kalan, 2002. 448 s.
5. Izuchenie vliyaniya toksicheskikh veshchestv na organizm / Z.B. Esimsiitova [i dr.] // *Vestnik KazNMU*. 2018. № 1. 287 s.
6. Musaev M.E., Dadashov I.F. Razrabotka edinogo sredstva dlya predotvrashcheniya isparennya toksichnykh zhidkostej i tusheniya pozharov klassa «V» // *Engineering mechanics*. 2021. № 3-4. P. 115–123.
7. Abduragimov I.M., Kuprin G.N. Innovacionnye tekhnologii vzryvopozharopredotvrashcheniya na kriticheski vaznykh ob'ektah TEK RF, v tom chisel s pomoshch'yu bystrotverdeyushchih pen na osnove strukturirovannykh chastic kremnezema // *Korabel.Ru*. 2015. Vol. 4 (30). S. 131–136.
8. Silica foams for fire prevention and firefighting / A.V. Vinogradov [et al.] // *ACS (American Chemical Society). Applied materials & interfaces*. 2016. Vol. 8 (1). P. 294–301.
9. Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Kuprin D.S. Mekhanizm ognetushashchego dejstviya bystrotverdeyushchih pen na osnove strukturirovannykh chastic kremnezema // *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*. 2016. № 4. S. 50–56.
10. Lifetime research of rapid-hardening foams / R. Pietukhov [et al.] // *Problems of emergency situations*. 2020. № 31. P. 226–233.
11. Abramov Yu.A., Kireev A.A. Geleobrazuyushchie ognetushashchie i ognezashchitnye sredstva povyshennoj effektivnosti primenitel'no k pozharam klassa «A». Har'kov: NUGZU, 2015. 254 s.

12. Gasinnya goryuchih ridin tverdimi poristimi materialami ta geleutvoryuyuchimi sistemami: monografiya / I.F. Dadashov [i dr.]. Harkiv: NUCZU, 2021 235 s.
13. Bariev E.R. Chrezvychajnye situacii s himicheski opasnymi veshchestvami. Minsk: IVC Minfina, 2008. 256 s.
14. Doslidzhennya izolyuyuchih vlastivostej pin shvidkogo tverdinnya / R.A. Petuhov [i dr.] // Problemi nadzvichajnih situacij. 2021. № 1 (33). S. 84–91.
15. Musaev M.E., Dadashov I.F. Issledovanie plavuchesti i stojkosti bystrotverdeyushchih pen, prednaznachennyh dlya predotvrashcheniya ispareniya toksichnyh zhidkostej i tusheniya pozharov klassa «V» // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i ohrany truda»: sb. trudov HKHXII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Predotvrashchenie. Spasenie. Pomoshch'». Himki: AGZ MCHS Rossii. 2022. S. 79–86.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 22.11.2022; одобрена после рецензирования: 19.12.2022; принята к публикации: 21.12.2022

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 22.11.2022; approved after review: 19.12.2022; accepted for publication: 21.12.2022

*Информация об авторах:*

**Дадашов Ильгар Фирдоси оглы**, начальник факультета заочного образования Академии МЧС Азербайджанской Республики (AZ1073, Азербайджан, г. Баку, ул. М. Мушвига, д. 501), доктор технических наук, профессор, e-mail: ilgardadashov.69@gmail.com

**Мусаев Магомед Эльчин оглы**, докторант Азербайджанского университета архитектуры и строительства (Азербайджан, г. Баку, ул. Айны Султановой, д. 4), преподаватель – методист факультета заочного образования Академии МЧС Азербайджанской Республики (AZ1073, Азербайджан, г. Баку, ул. М. Мушвига, д. 501), e-mail: Musayev95-95@mail.ru

**Дорошенко Станислав Иванович**, доцент кафедры горноспасательного дела и взрывобезопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: stasdoroshenko@mail.ru

*Information about authors:*

**Dadashov Igar F.**, head of the faculty of correspondence education of the Academy of EMERCOM of the Republic of Azerbaijan (AZ1073, Azerbaijan, Baku, M. Mushviga str., 501), doctor of technical sciences, professor, e-mail: ilgardadashov.69@gmail.com

**Musayev Magomed E.**, doctoral student of the Azerbaijan university of architecture and construction (Azerbaijan, Baku, Aina Sultanova str., 4), teacher – methodologist of the faculty of correspondence education of the Academy of EMERCOM of the Republic of Azerbaijan (AZ1073, Azerbaijan, Baku, M. Mushviga str., 501), e-mail: Musayev95-95@mail.ru

**Doroshenko Stanislav I.**, associate professor of the department of mine rescue and explosion safety 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: stasdoroshenko@mail.ru

Научная статья

УДК 614.841

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Самигуллин Гафур Халафович;

✉ Гремин Юрий Владимирович.

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

✉ [yura.gremin@yandex.ru](mailto:yura.gremin@yandex.ru)

*Аннотация.* Проведена оценка распространения опасных факторов пожара в программе PyroSim. Определено время эвакуации пассажиров судна с помощью программы Pathfinder. Рассмотрены особенности эвакуации из отсеков в безопасную зону с учетом качки в сложных природно-климатических условиях и предложен коэффициент адаптации  $Ka^*$ , учитывающий угол наклона палубы в интервале  $0 \dots 15$  градусов во время шторма. Предложена формула оценки индивидуального пожарного риска и вероятности эвакуации для различных сценариев пожара с учетом качки судна. По результатам оценки пожарного риска на модели судна предложены основные направления по снижению пожарных рисков для объектов водного транспорта.

*Ключевые слова:* водный транспорт, опасные факторы пожара, время эвакуации, индивидуальный пожарный риск

**Для цитирования:** Самигуллин Г.Х., Гремин Ю.В. Совершенствование методики оценки пожарной опасности на объектах водного транспорта в сложных природно-климатических условиях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 83–93.

Scientific article

## **IMPROVING THE METHODOLOGY OF FIRE HAZARD ASSESSMENT AT WATER TRANSPORT FACILITIES IN DIFFICULT NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS**

Samigullin Gafur Kh.;

✉ Gremin Yuri V.

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

✉ [yura.gremin@yandex.ru](mailto:yura.gremin@yandex.ru)

*Abstract.* An assessment of the spread of fire danger in the PyroSim program was carried out. The evacuation time of the ship's passengers was determined using the Pathfinder program. The features of evacuation from compartments to a safe zone are considered, taking into account pitching in difficult natural and climatic conditions, and an adaptation coefficient  $Ka^*$  is proposed, taking into account the angle of inclination of the deck in the range of  $0 \dots 15$  degrees during a storm. A formula is proposed for assessing the individual fire risk and the probability of evacuation under various fire scenarios, taking into account the pitching of the vessel. Based on the results of the fire risk assessment on the ship model, the main directions for reducing fire risks for water transport facilities are proposed.

*Keywords:* water transport, fire hazards, evacuation time, individual fire risk

**For citation:** Samigullin G.Kh., Gremin Yu.V. Improving the methodology of fire hazard assessment at water transport facilities in difficult natural and climatic conditions // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 83–93.

---

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

## Введение

Сравнение времени эвакуации со временем наступления критических значений опасных факторов пожара (ОФП) является основой оценки пожарных рисков в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. В ранее опубликованных работах [1, 2], а также в работах других авторов [3] было установлено, что нормативное обеспечение в области оценки пожарной опасности на водных объектах является недостаточным, что обуславливает необходимость дальнейшего развития методической базы в части обеспечения безопасности персонала и пассажиров. В соответствии с действующими положениями в области пожарной безопасности [4, 5] наиболее продуктивным является применение риск-ориентированных методов, позволяющих получить расчетные значения рисков гибели людей из-за воздействия ОФП. В данной связи в настоящей работе была поставлена цель – оценить величину риска гибели персонала и пассажиров в случае возникновения пожара на примере типового проекта судна вместимостью не более 100 чел. с помощью программ PuroSim [6] и Pathfinder [7] и на основании выполненных расчетов дать рекомендации по снижению индивидуального пожарного риска.

## Методы исследования

В качестве типового судна для моделирования распространения ОФП и передвижения пассажиров судна при эвакуации из противопожарных отсеков было выбрано однопалубное судно с удлиненным баком, со сдвинутой в нос жилой надстройкой, со средним расположением машинных помещений, с дизель-электрической энергетической установкой, азимутальным пропульсивным комплексом со встроенными электродвигателями и носовыми подруливающими устройствами.

Судно предусмотрено для 39 чел. экипажа и 50 пассажиров.

Задача оценки риска гибели персонала и пассажиров в случае возникновения пожара на данном судне решалась в четыре этапа:

1 этап – моделирование ОФП на основе применения программы PuroSim и определение времени блокирования путей эвакуации;

2 этап – оценка времени эвакуации пассажиров и персонала с помощью программы Pathfinder, которая имеет наилучшее совпадение результатов в сравнении с экспериментальными данными [8];

3 этап – корректировка результатов моделирования эвакуации пассажиров и персонала с учетом сложных природно-климатических условий;

4 этап – оценка рисков при стандартных (штиль) и сложных (качка при волнении моря в шторм) условиях.

На начальном этапе моделирования в программе PuroSim выполнялось построение модели судна в масштабе, показанного на рисунке. Применительно к указанному типу судна при построении модели учитывались размеры помещений, проходов и эвакуационных выходов в соответствии с действующими нормативными документами [9–14].

На основе опыта эксплуатации пассажирских судов были определены следующие отсеки [15, 16], в которых являлось наиболее вероятным возникновение пожара:

– противопожарный отсек верхней палубы со следующими помещениями: 13 двухместных кают, столовая на 66 чел., камбуз, кладовые, помещение инсинератора – в котором расположена установка, предназначенная для термического обезвреживания и уничтожения отходов;

– противопожарный отсек на палубе надстройки первого яруса, где сосредоточено большое количество помещений: четыре двухместных каюты, девять одноместных кают, помещение вентиляторов и кондиционеров, компьютерный центр, серверная, салон команды, канцелярия, медицинский блок (стационар, изолятор, амбулатория).

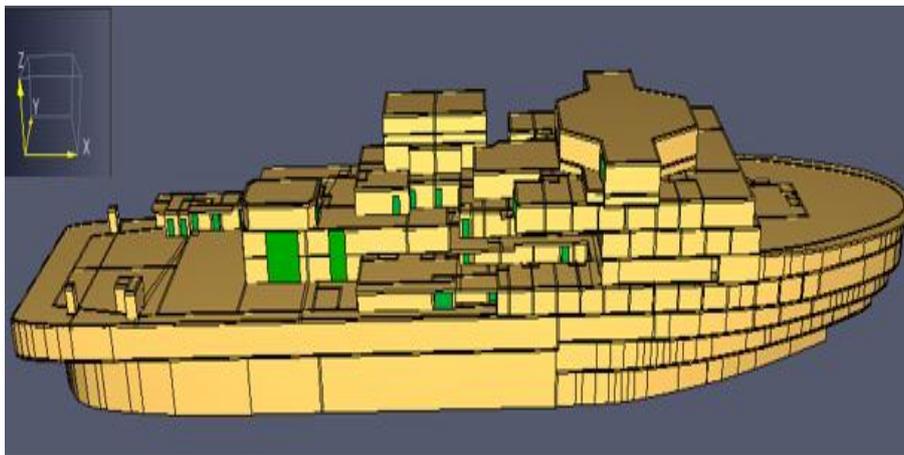


Рис. Внешний вид модели судна программе PyroSim

Так как судно разделено на противопожарные отсеки, то ОФП моделировались для каждого отсека отдельно.

При моделировании ОФП в каждом из отсеков определялось время наступления их критических значений на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола в соответствии с положениями, изложенными в приложении № 6 приказа МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (Методика) [4]:

- повышенная температура:  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- потеря видимости: 20 м или если горизонтальные линейные размеры помещения меньше, то принимается по наибольшему горизонтальному размеру помещения;
- пониженное содержание кислорода:  $0,226\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;
- токсичные газообразные продукты горения:  $\text{CO}_2 - 0,11\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ,  $\text{CO} - 1,16\cdot 10^{-3}\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;
- тепловой поток –  $1\ 400\text{ Вт}/\text{м}^2$ .

При этом фиксировалось как минимальное значение, соответствующее моменту блокирования ближайшего выхода по траектории эвакуации, так и максимальное – для наиболее удаленного выхода. Для оценки динамики развития пожара рассматривались два варианта распространения ОФП:

1. Без автоматической системы пожаротушения.
2. При работавшей автоматической системе пожаротушения.

На втором этапе модельные параметры судна служили основой для оценки времени эвакуации пассажиров и персонала с помощью программы Pathfinder. На данном этапе при проведении расчетной оценки времени эвакуации людей из помещений были учтены особенности ее проведения на объектах водного транспорта.

При возникновении пожара на объекте водного транспорта согласно судовым инструкциям объявляется общесудовая тревога, и экипаж начинает действовать согласно инструкции и расписанию по тревогам. Каждый член экипажа выполняет свою функцию. Проводятся мероприятия по организации эвакуации пассажиров из помещений в безопасную зону [17] на судне, которая обозначается в расписании по тревогам или может быть определена капитаном судна для сбора пассажиров в зависимости от возникшей аварийной ситуации. Каждый эвакуирующийся должен не просто проследовать по путям эвакуации в безопасную зону, но и получить у экипажа, занимающегося эвакуацией пассажиров, или же самостоятельно найти индивидуальные средства защиты и надеть их.

После моделирования распространения ОФП в программе PyroSim модель судна переносится в программу Pathfinder, и для каждого противопожарного отсека выполняется распределение по помещениям максимального количества человек, которые могут находиться в отсеке. Также устанавливается время перекрытия эвакуационных выходов ОФП в соответствии с ранее проведенными расчетами в программе PyroSim.

При моделировании эвакуации в программе Pathfinder, кроме того, были учтены следующие предположения:

- время начала эвакуации было выбрано в соответствии с приложением 5 Методики [4], хотя в зарубежных источниках [18–21] рассматривается, что время от момента обнаружения пожара до момента начала движения в сторону выхода из отсека может быть намного больше, чем в Методике [4]. Таким образом, пассажир, находящийся в помещении с очагом пожара, приступает к эвакуации через 5 с после обнаружения ( $\tau_{нэ1}$ ), остальные пассажиры начинают двигаться в сторону эвакуационного выхода через время начальное  $\tau_{нэ2}$ , равное 2 мин;
- все пассажиры направлялись к ближайшему эвакуационному выходу;
- расположение экипажа и пассажиров по судну принималось исходя из максимально возможного количества человек в отсеке.

На третьем этапе проводилась корректировка результатов моделирования эвакуации пассажиров и персонала с учетом осложнений, которые могут возникнуть при выполнении рейсов судна в сложных природно-климатических условиях – сильный ветер, волнение водной поверхности или шторм [18]. На данном этапе были использованы результаты исследований по мультиагентному моделированию процессов эвакуации пассажиров аварийного судна в штормовых условиях [22]. Для оценки скорости движения пассажиров на судне в процессе эвакуации предлагалось использовать выражение вида [23]:

$$m_k \frac{dv_k}{dt} = F_k(t) + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $m_k$  – масса пассажира;  $dv_k$  – изменение скорости движения для  $k$ -го индивидуума;  $t$  – время движения при эвакуации;  $F_k(t)$  – специальная функция, совокупно характеризующая статические и динамические силы, влияющие на передвижение человека по поверхности переменного наклона (вследствие качки судна в различных плоскостях), а также силы, связанные со сменой режима движения (при ускорениях порядка 3 ... 7 м/с<sup>2</sup>) по поверхности переменного наклона: проскальзыванием или падением;  $\varepsilon$  – случайные отклонения, связанные с неоднородностью популяции.

Заключительный этап моделирования оценки времени эвакуации пассажиров и персонала проводился с учетом результатов ранее проведенных исследований, которые представлены в работах [24, 25]. Было установлено как экспериментально, так и путем математического моделирования, что при эвакуации пассажиров морских судов в сложных природно-климатических условиях и качка палубы вследствие воздействия динамических и кинематических факторов (сильный ветер, волнение моря, шторм, повороты судна и т.д.) поведение людей, их траектория и скорость движения претерпевают серьезные изменения [26]. В частности, формализация графической зависимости скорости перемещения людей от угла наклона палубы в интервале 0 ... 15 градусов (не более т.н. угла «паники») позволила получить следующую зависимость при начальной скорости движения человека по горизонтальной неподвижной поверхности  $v_H = 2$  м/с:

$$v = v_H - 0,043 * \varphi, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость перемещения человека по палубе, м/с;  $\varphi$  – угол отклонения палубы от горизонтального положения, град., принимали равным 15 градусам.

Для учета явления снижения скорости перемещения людей и увеличения времени эвакуации из зоны пожара применялся коэффициент адаптации  $K_a^*$  при перемещении по наклонной палубе как отношение скорости движения при неподвижной поверхности  $v_H$  к скорости  $v$ , определяемой выражением (2):

$$t_p = t_{пп} * K_a^*;$$

$$K_a^* = \frac{v_n}{v},$$

где  $t_p$  – время эвакуации, с учетом качки;  $t_{пр}$  – время, определяемое при моделировании эвакуации в программе Pathfinder.

На четвертом этапе выполнялась оценка вероятности эвакуации и индивидуальных пожарных рисков на объектах водного транспорта по выражению, полученному из формулы, содержащейся в методике определения расчетных величин пожарного риска [4] для  $i$ -го сценария пожара:

$$Q_{vi} = Q_{ni} P_{npi} (1 - P_{эi}),$$

где  $Q_{ni}$  – частота возникновения пожара на судне в течение года, принималась в расчетах равной величине 0,04 в соответствии с п. 8 [4];  $P_{npi}$  – вероятность присутствия людей в помещениях судна, принималась равной величине 0,333 в сутки исходя из предположения, что это среднее значение пребывания пассажиров либо членов экипажа в определенных помещениях судна, таких как: вахта, каюта и т.д.;  $P_{эi}$  – вероятность эвакуации людей из помещений, которая определяется по формуле:

$$P_{эi} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_{нэ} + t_p \leq t_{бл\ min} \\ 1 - \frac{t_{нэ} + t_p}{t_{бл\ max}}, & t_{нэ} + t_p < t_{бл\ max}, \\ 0, & t_{нэ} + t_p \geq t_{бл\ max} \end{cases}$$

где  $t_{нэ}$  – время начала эвакуации;  $t_p$  – расчетное время, необходимое для эвакуации людей и персонала в безопасную зону с учетом изменения скорости движения людей по формуле (1) при наличии сложных природно-климатических условий эвакуации, безопасной зоной на судне при пожаре принимаются эвакуационные трапы, палуба и другие отсеки за пределами противопожарного отсека, в котором возникает очаг пожара;  $t_{бл\ min}$ ,  $t_{бл\ max}$  – время блокирования выхода из помещения, наиболее близкого к очагу пожара и максимально удаленного от пожара соответственно.

### Результаты исследования и их обсуждение

Реализация приведенных выше этапов моделирования процессов эвакуации людей при пожаре протекала следующим образом. В программе PyroSim была подготовлена модель судна. Моделирование распространения ОФП проходило для горения очага в течение 400 с. Далее, из программы PyroSim переносилась модель судна в программу Pathfinder, и выполнялась оценка времени эвакуации людей из отсеков.

Моделирование распространения ОФП и времени эвакуации людей было выполнено с учетом следующих положений:

- очаг пожара определялся в ближайшем помещении к эвакуационному выходу;
- в качестве пожарной нагрузки выбиралась нагрузка применительно к административным помещениям.

Для снижения пожарной опасности на судах устанавливаются автоматические системы пожаротушения (АСП). Их использование позволяет увеличить время наступления критических значений ОФП и блокирования путей эвакуации, что повышает вероятность эвакуации людей из зоны пожара.

Для повышения достоверности результатов моделирования в программных комплексах моделировалось развитие пожароопасной ситуации при различном расположении очагов пожара. В частности, в местах расположения максимального количества людей оценивалась

динамика достижения критических значений ОФП для надстройки одного яруса при возгорании в следующих помещениях:

- серверная;
- одноместная каюта рядом с выходом на правый борт судна;
- двухместная каюта напротив медицинского блока.

Результаты оценки времени эвакуации и количество спасенных людей для случая с очагом пожара в помещениях надстройки первого яруса дают основание сделать вывод, что при неблагоприятном сценарии возникновения и развития пожара с учетом времени начала эвакуации 2 мин люди эвакуироваться не успевают, но если время начала эвакуации составляет не более 5 с, то шанс на успешную эвакуацию есть у значительного количества пассажиров судна.

Аналогичным образом было проведено моделирование времени достижения критических значений ОФП в условиях задействования систем пожаротушения, а также продолжительности эвакуации пассажиров и персонала пассажирского судна при наличии качающейся поверхности палубы до 15 градусов в условиях шторма.

В результате моделирования максимальный эффект увеличения времени достижения критических значений ОФП ярко выражен для путей эвакуации, наиболее удаленных от очага пожара. В местах, приближенных к очагу пожара, заметного влияния на время блокирования выходов из зоны пожара не происходит.

Результаты оценки рисков, полученных в ходе моделирования процесса эвакуации как в стандартных условиях, так и при передвижении людей в условиях штормовой погоды по неустойчивой палубе, с углом отклонения палубы от горизонтального положения не более 15 градусов, приведены в сводной таблице.

Приведенные в таблице данные показывают, что расчетные значения индивидуальных пожарных рисков при учете условий, осложненных штормовой погодой, выше значений рисков при эвакуации в стандартных условиях. Кроме того, еще сильнее риски возрастают, если не сработает или будет отсутствовать система пожаротушения в помещении с очагом пожара. Данные результаты коррелируют с выводами зарубежных исследователей, представленных в работах [27, 28].

### Заключение

Изложенные выше результаты позволяют констатировать, что природно-климатические условия будут оказывать существенное влияние на осуществление процессов эвакуации при возникновении пожара на рассматриваемых судах. Следовательно, при навигации судов рассматриваемого типа в северных широтах в осенне-зимний период, когда повышается вероятность осложнений природно-климатических условий, возникает необходимость реализации дополнительных организационно-технических мероприятий для снижения пожарной опасности до приемлемых значений пожарного риска.

В частности, необходима дальнейшая доработка нормативно-технической базы в части:

1) На стадии проектирования судна необходимо разрабатывать объемно-планировочные решения, позволяющие производить компоновку эвакуационных выходов из противопожарного отсека с учетом необходимости разнесения их в разные стороны по длине отсека.

2) Для снижения пожарных рисков все помещения противопожарных отсеков с большим количеством находящихся в них людей необходимо оснащать высокоэффективными системами автоматического пожаротушения (например, с применением инновационных огнетушащих веществ, модифицированных углеродными наночастицами [29]).

Таблица

## Результаты оценки уровня пожарной опасности

Место расположения очага пожара	Время блокирования, сек.				Время эвакуации, сек.		Вероятность эвакуации $P_{э}$ / Индивидуальный пожарный риск $Q_{бл}$			
	без АСП		с АСП		$t_{пр}$	$t_p$	стандартные условия		сложные условия	
	$t_{бл\ min}$	$t_{бл\ max}$	$t_{бл\ min}$	$t_{бл\ max}$			без АСП	с АСП	без АСП	с АСП
Жилой отсек верхней палубы	22	22	30	38	61	82,655	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0/1,332*10 <sup>-2</sup>
Надстройка 1 яруса, помещение серверной	15	52	17	90	53	71,815	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0,356/8,585*10 <sup>-3</sup>	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0,147/1,137*10 <sup>-2</sup>
Надстройка 1 яруса, одноступенчатая каюта рядом с выходом на правый борт судна	19	40	64	130	40	54,2	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0,999/1,332*10 <sup>-5</sup>	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0,999/1,332*10 <sup>-5</sup>
Надстройка 1 яруса, двухместная каюта напротив медицинского блока	16	60	18	118	55	74,525	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0,492/6,773*10 <sup>-3</sup>	0/1,332*10 <sup>-2</sup>	0,326/8,976*10 <sup>-3</sup>

Таким образом, на основе проведенных расчетно-аналитических процедур по оценке вероятности гибели людей в случае возникновения пожара была предложена методика расчета индивидуального пожарного риска для пассажиров и персонала на примере типового проекта судна вместимостью не более 100 чел. В ходе реализации данной методики были получены следующие результаты:

- проведена оценка распространения ОФП в программе PyroSim;
- определено время эвакуации пассажиров судна с помощью программы Pathfinder;
- для оценки времени передвижения людей по горизонтальной поверхности в сложных климатических условиях предложен коэффициент адаптации  $K_a^*$ , учитывающий угол наклона палубы в интервале 0 ... 15 градусов при штормовых условиях;
- определены значения вероятности эвакуации и пожарных рисков как в стандартных условиях, так и в условиях шторма;
- предложены основные направления по снижению пожарных рисков для объектов водного транспорта.

### Список источников

1. Гремин Ю.В., Симонова М.А. Нормативное обоснование необходимости оценки пожарного риска на пассажирских судах // Комплексная безопасность и физическая защита: VI Мемориальный семинар профессора Б.Е. Гельфанда. 2017. С. 127–129.
2. Лыткин А.С., Любимов Е.В., Гремин Ю.В. Некоторые направления совершенствования ведомственной нормативной базы по пожарной безопасности в судостроении // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 1. С. 29–33.
3. Ермолаев П.М., Лукичев Д.И., Складорова Л.М. Нормативное обеспечение пожарной безопасности на внутренних водных путях и территориальном море Российской Федерации // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т. 17. № 3 (65). С. 33–38.
4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
5. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
6. Программа Pyrosim – полевая модель пожара. URL: <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara/> (дата обращения: 01.10.2022).
7. Программа Pathfinder – расчет времени эвакуации людей. URL: <https://pyrosim.ru/raschet-vremeni-ehvakuacii-lyudej> (дата обращения: 01.10.2022).
8. К вопросу о точности моделей индивидуально-поточного движения / В.В. Холщевников [и др.] // Ройтмановские чтения: сб. материалов VII науч.-практ. конф. 2019. С. 30–34.
9. Правила классификации и постройки морских судов // Российский морской регистр судоходства. СПб., 2011. 11 изд. Т. 1. Ч. VI.
10. International convention for the safety of life at sea (SOLAS-74) // International maritime organization. URL: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)-1974.aspx) (дата обращения: 01.10.2022).
11. Правила классификации и постройки судов. Российский речной регистр. URL: [www.standartgost.ru](http://www.standartgost.ru) (дата обращения: 01.10.2022).
12. Об утверждении Технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта: постановление правительства Российской Федерации от 12 авг. 2010 г. № 623. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
13. Об утверждении Правил пожарной безопасности на судах внутреннего водного транспорта Российской Федерации: приказ Минтранса Российской Федерации от 24 дек. 2002 г. № 158. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
14. О правилах пожарной безопасности на морских судах: постановление Министерства транспорта Российской Федерации от 31 октября 2003 г. № 10 // Электронный фонд правовой

и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.10.2022).

15. Борьба с пожарами на судах. Т. 1: Пожарная опасность на судах / В.И. Востряков [и др.]; под ред. М.Г. Ставицкого. Л.: Судостроение, 1976. 135 с.

16. Борьба с пожарами на судах. Т. 2: Средства борьбы с пожарами на судах / В.И. Востряков [и др.]; под ред. М.Г. Ставицкого. Л.: Судостроение, 1976. 319 с.

17. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 14 июля 2022 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

18. Revised guidelines on evacuation analysis for new and existing passenger ships // International maritime organization. URL: <https://www.traffgoht.com/downloads/pedestrians/downloads/documents/MSC.1,Circ.1533,2016.pdf> (дата обращения: 01.11.2022).

19. Łozowicka D, Łozowicki A. Identification of factors having an impact on the moment of commencing the evacuation of people from a vessel // *Transport problems*. 2010. Т. 5. № 2. С. 59–64.

20. Azzi C., Pennycott A., Vassalos D. Evacuation simulation of shipboard fire scenarios // *Proceedings, fire and evacuation modeling technical conference*. Baltimore, Maryland, 2011.

21. Yoon-Ok Cho, Sol Ha, Kwang-Phil Park. Velocity-based egress model for the analysis of evacuation process on passenger ships // *Journal of marine science and technology*. 2016. № 24 (3). P. 466–483. URL: <https://jmstt.ntou.edu.tw/journal/vol24/iss3/12/> (дата обращения: 22.11.2022).

22. Murphy S.Ó., Brown K.N., Sreenan C. The EvacSim pedestrian evacuation agent model: development and validation // *Summer computer simulation conf. society for modeling & simulation international: proceedings*. 2013. P. 38.

23. Балахонцева М.А., Бухановский А.В. Мультиагентное моделирование процесса эвакуации пассажиров аварийного судна в штормовых условиях // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2015. Т. 58. № 8.

24. Балахонцева М.А. Мультиагентное моделирование процессов эвакуации с аварийного судна в штормовых условиях: дис. ... канд. техн. наук. 2015. 109 с.

25. Фаустова О.Г. Разработка методики интегральной оценки и управления риском возникновения чрезвычайных ситуаций для повышения безопасности морских и мультимодальных грузоперевозок: дисс. ... канд. техн. наук. 2016. 170 с.

26. Jaemin Lee, Hyuncheol Kim, Soonjo Kwon. Evacuation analysis of a passenger ship with an inclined passage considering the coupled effect of trim and heel // *International journal of naval architecture and ocean engineering*. 2022. Vol. 14.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2092678222000164> (дата обращения: 22.11.2022).

27. Andreadakis A., Dalaklis D. Evacuation of ships: Discovering the mishaps behind the casualties // *Journal of international maritime safety environmental affairs and shipping*. 2022. № 6 (2-3). P. 135–140. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/25725084.2022.2129200> (дата обращения: 22.11.2022).

28. Min Hu, Wei Cai. Research on the evacuation characteristics of cruise ship passengers in multi-scenarios. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/9/4213> (дата обращения: 22.11.2022).

29. Гремин Ю.В., Самигуллин Г.Х. Оценка опасных факторов пожара на объектах водного транспорта // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России»*. 2021. № 3. С. 13–20.

## References

1. Gremin Yu.V., Simonova M.A. Normativnoe obosnovanie neobhodimosti ocenki pozharnogo riska na passazhirskih sudah // *Kompleksnaya bezopasnost' i fizicheskaya zashchita: VI Memorial'nyj seminar professora B.E. Gel'fanda*. 2017. S. 127–129.

2. Lytkin A.S., Lyubimov E.V., Gremin Yu.V. Nekotorye napravleniya sovershenstvovaniya vedomstvennoj normativnoj bazy po pozharnej bezopasnosti v sudostroenii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 1. S. 29–33.
3. Ermolaev P.M., Lukichev D.I., Sklyarova L.M. Normativnoe obespechenie pozharnej bezopasnosti na vnutrennih vodnyh putyach i territorial'nom more Rossijskoj Federacii // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2020. T. 17. № 3 (65). S. 33–38.
4. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnej opasnosti: prikaz MCHS Rossijskoj Federacii ot 30 iyunya 2009 g. № 382. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
5. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob'ektah: prikaz MCHS Rossijskoj Federacii ot 10 iyulya 2009 g. № 404. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
6. Programma Pyrosim – polevaya model' pozhara. URL: <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara/> (data obrashcheniya: 01.10.2022).
7. Programma Pathfinder – raschet vremeni evakuacii lyudej. URL: <https://pyrosim.ru/raschet-vremeni-ehvakuacii-lyudej> (data obrashcheniya: 01.10.2022).
8. K voprosu o tochnosti modelej individual'no-potochnogo dvizheniya / V.V. Holshchevnikov [i dr.] // Rojzmanovskie chteniya: sb. materialov VII nauch.-prakt. konf. 2019. S. 30–34.
9. Pravila klassifikacii i postrojki morskikh sudov // Rossijskij morskij registr sudohodstva. SPb., 2011. 11 izd. T. 1. Ch. VI.
10. International convention for the safety of life at sea (SOLAS-74) // International maritime organization. URL: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)-1974.aspx) (data obrashcheniya: 01.10.2022).
11. Pravila klassifikacii i postrojki sudov. Rossijskij rechnoj registr. URL: [www.standartgost.ru](http://www.standartgost.ru) (data obrashcheniya: 01.10.2022).
12. Ob utverzhdenii Tekhnicheskogo reglamenta o bezopasnosti ob'ektov vnutrennego vodnogo transporta: postanovlenie pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 12 avg. 2010 g. № 623. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
13. Ob utverzhdenii Pravil pozharnej bezopasnosti na sudah vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii: prikaz Mintransa Rossijskoj Federacii ot 24 dek. 2002 g. № 158. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
14. O pravilah pozharnej bezopasnosti na morskikh sudah: postanovlenie Ministerstva transporta RF ot 31 oktyabrya 2003 g. № 10 // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.10.2022).
15. Bor'ba s pozharami na sudah. T. 1: Pozharnaya opasnost' na sudah / V.I. Vostryakov [i dr.]; pod red. M.G. Stavickogo. L.: Sudostroenie, 1976. 135 s.
16. Bor'ba s pozharami na sudah. T. 2: Sredstva bor'by s pozharami na sudah / V.I. Vostryakov [i dr.]; pod red. M.G. Stavickogo. L.: Sudostroenie, 1976. 319 s.
17. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnej bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (v red. ot 14 iyulya 2022 g.). Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
18. Revised guidelines on evacuation analysis for new and existing passenger ships // International maritime organization. URL: <https://www.traffgoht.com/downloads/pedestrians/downloads/documents/MSC.1,Circ.1533,2016.pdf> (data obrashcheniya: 01.11.2022).
19. Łozowicka D, Łozowicki A. Identification of factors having an impact on the moment of commencing the evacuation of people from a vessel // Transport problems. 2010. T. 5. № 2. P. 59–64.
20. Azzi C., Pennycott A., Vassalos D. Evacuation simulation of shipboard fire scenarios // Proceedings, fire and evacuation modeling technical conference. Baltimore, Maryland, 2011.
21. Yoon-Ok Cho, Sol Ha, Kwang-Phil Park. Velocity-based egress model for the analysis of evacuation process on passenger ships // Journal of marine science and technology. 2016. № 24 (3). P. 466–483. URL: <https://jmstt.ntou.edu.tw/journal/vol24/iss3/12/> (data obrashcheniya: 22.11.2022).

22. Murphy S.Ó., Brown K.N., Sreenan C. The EvacSim pedestrian evacuation agent model: development and validation // Summer computer simulation conf. society for modeling & simulation international: proceedings. 2013. P. 38.
23. Balahonceva M.A., Buhanovskij A.V. Mul'tiagentnoe modelirovanie processa evakuacii passazhirov avarijnogo sudna v shtormovyh usloviyah // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2015. T. 58. № 8.
24. Balahonceva M.A. Mul'tiagentnoe modelirovanie processorov evakuacii s avarijnogo sudna v shtormovyh usloviyah: dis. ... kand. tekhn. nauk. 2015. 109 s.
25. Faustova O.G. Razrabotka metodiki integral'noj ochenki i upravleniya riskom vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij dlya povysheniya bezopasnosti morskikh i mul'timodal'nyh gruzoperevozok: dis. ... kand. tekhn. nauk. 2016. 170 s.
26. Jaemin Lee, Hyuncheol Kim, Soonjo Kwon. Evacuation analysis of a passenger ship with an inclined passage considering the coupled effect of trim and heel // International journal of naval architecture and ocean engineering. 2022. Vol. 14.  
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2092678222000164> (data obrashcheniya: 22.11.2022).
27. Andreadakis A., Dalaklis D. Evacuation of ships: Discovering the mishaps behind the casualties // Journal of international maritime safety environmental affairs and shipping. 2022. № 6 (2-3). P. 135–140. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/25725084.2022.2129200> (data obrashcheniya: 22.11.2022).
28. Min Hu, Wei Cai. Research on the evacuation characteristics of cruise ship passengers in multi-scenarios. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/9/4213> (data obrashcheniya: 22.11.2022).
29. Gremin Yu.V., Samigullin G.H. Ocenka opasnyh faktorov pozhara na ob"ektah vodnogo transporta // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 3. S. 13–20.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 26.12.2022; одобрена после рецензирования: 25.01.2023; принята к публикации: 26.01.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 26.12.2022; approved after review: 25.01.2023; accepted for publication: 26.01.2023

*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](mailto:samigullin.g@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5688-8921>

**Гремин Юрий Владимирович**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [yura.gremin@yandex.ru](mailto:yura.gremin@yandex.ru)

*Information about the authors:*

**Samigullin Gafur Kh.**, chair professor 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](mailto:spi78@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

**Gremin Yuri V.**, senior lecturer of chair 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: [yura.gremin@yandex.ru](mailto:yura.gremin@yandex.ru)

Научная статья

УДК 338.24.01; 338.47; 629.73.018

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИСПЫТАНИЙ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ (БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ)**

✉ Гетманцев Алексей Юрьевич.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), филиал «Взлет», г. Ахтубинск, Россия

✉ [tomamens@mail.ru](mailto:tomamens@mail.ru)

*Аннотация.* В статье рассмотрена классификация показателей эффективности систем безопасности в части применения их во время испытаний или эксплуатации беспилотных воздушных судов (беспилотных летательных аппаратов (равнозначные термины по ГОСТ Р 56122–2014) [1]).

Контроль и обеспечение мероприятий безопасности существенно усложнилось ввиду значительного расширения номенклатуры и количества общедоступных малогабаритных беспилотных воздушных судов, а также развития области применения профессиональных аппаратов среднего и большого класса.

Проанализированы причины возникновения опасных факторов, связанных с потерей устойчивого радиуправления, передачи видеопотока, определения собственных координат из-за помех различного рода.

Выполнено формирование и наполнение классификационных группировок оценки мероприятий по обеспечению безопасности во время испытаний и эксплуатации беспилотных воздушных судов для последующего определения целевых показателей их безопасного применения.

Предложен принцип «повышения безусловной безопасности испытаний и эксплуатации», позволяющий увеличить эффективность мероприятий по обеспечению безопасности на этапе как планирования и проведения испытаний беспилотных воздушных судов, так и их эксплуатации за счет повышения достоверности оценок на основе располагаемой априорной информации от средств контроля и измерений и своевременного принятия корректирующих воздействий для недопущения авиационных происшествий и катастроф.

*Ключевые слова:* классификация показателей, беспилотное воздушное судно, безопасность, эффективность, затраты

**Для цитирования:** Гетманцев А.Ю. Классификация показателей эффективности контроля безопасности испытаний и эксплуатации беспилотных воздушных судов (беспилотных летательных аппаратов) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 94–104.

Scientific article

## CLASSIFICATION OF INDICATORS OF THE EFFECTIVENESS OF SAFETY CONTROL OF TESTING AND OPERATION OF UNMANNED AIRCRAFT (UNMANNED AERIAL VEHICLES)

✉ Getmantsev Alexey Yu.

Moscow aviation institute (national research university), branch «Vzlet», Akhtubinsk, Russia

✉ tomamens@mail.ru

*Abstract.* The article considers the classification of performance indicators of safety systems in terms of their application during testing or operation of unmanned aircraft (unmanned aerial vehicles (equivalent terms according to GOST R 56122–2014 [1]).

The control and provision of security measures has become significantly more complicated due to the significant expansion of the nomenclature and number of publicly available small-sized unmanned aerial vehicles (unmanned aerial vehicles), as well as the development of the field of application of professional medium and large-class vehicles.

The reasons for the occurrence of dangerous factors associated with the loss of stable radio control, transmission of video stream, determination of own coordinates due to interference of various kinds are analyzed.

The formation and filling of classification groupings for the assessment of safety measures during testing and operation of unmanned aerial vehicles for the subsequent determination of targets for their safe use has been carried out.

The principle of «improving the unconditional safety of testing and operation» is proposed, which allows to increase the effectiveness of safety measures at the stage of both planning and conducting tests of unmanned aerial vehicles and their operation, by increasing the reliability of estimates based on available a priori information from monitoring and measurement tools and timely adoption of corrective actions to prevent accidents and catastrophes.

*Keywords:* classification of indicators, unmanned aircraft, safety, efficiency, costs

**For citation:** Getmantsev A.Yu. Classification of indicators of the effectiveness of safety control of testing and operation of unmanned aircraft (unmanned aerial vehicles) // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 94–104.

### Введение

Резкое увеличение количества беспилотных воздушных судов (БВС) приводит к различного рода происшествиям, ранее практически невозможным, например:

- столкновение в районе аэродрома с пилотируемыми самолетами и вертолетами, поскольку внешний пилот получает информацию от видеокамер в очень узком секторе [2];
- падение БВС, снимающих спортивные соревнования, в скопление спортсменов и нанесение им различного рода травм [3];
- попадание БВС в стекло офиса (рис. 1), а затем БВС разбивает голову человека [4];
- столкновение БВС с проводами и последующее его падение на прохожих;
- потеря БВС различных тяжелых грузов при следовании по маршруту на автоматическом или ручном управлении (рис. 2);
- потеря контроля над БВС во время испытательных полетов и его непредсказуемое движение до полной выработки топлива, столкновения с землей и находящимися на ней объектами.



**Рис. 1. БВС пробило окно офиса в Кейптауне**



**Рис. 2. Первое БВС по доставке грузов «Почты России» (стоимостью 1,2 млн руб.) врезалось в дом во время своего первого полета [5]**

Одними из основных составных частей беспилотной авиационной системы являются бортовые и наземные приемопередающие устройства, одно из которых установлено на борту БВС, а другое находится на земле у оператора. Значительная доля авиационных происшествий с БВС связана с потерей устойчивого радиоуправления под воздействием различных помех естественного или искусственного происхождения. Кроме того, проблемы в передаче данных с текущими координатами БВС или срыв передачи от БВС видеопотока практически всегда приводят к ошибочным действиям оператора, который перестал получать объективную и оперативную информацию от БВС и действует наугад.

Особенно большой урон наносят авиакатастрофы с участием тяжелых и средних БВС, которые проходят испытания или теряют управление во время эксплуатации. Так, во всем мире за период с 2001 по 2018 г. в результате аварий разбилось более 400 единиц средних и тяжелых БВС (согласно данным расследования, проведенным журналистами издания Washington Post [6]). С момента начала военных действий в Афганистане и Ираке, когда вооруженные силы США начали массовое использование военных БВС, большое их количество потерпело аварию по причине технических поломок, человеческого фактора, плохой погоды и других небоевых причин.

Только в 2022 г. произошли следующие авиационные происшествия с БВС:

14 сентября – предположительно БВС Ту-141 «Стриж» упал в Ставропольском крае недалеко от с. Кендже-Кулак, ранено 7 чел. [7];

12 октября 2022 г. под г. Волгоградом упало на парашюте и развалилось на части БВС АС-32–08, выпускаемое ООО «Ас-Кам», применявшееся для осмотра нефтепровода «Транснефть» [8].

В то же время нормативные документы Российской Федерации [9] дают однозначное определение термина «обеспечение безопасности полетов» – это комплекс мероприятий, проводимых авиационным персоналом, направленный на создание условий для проведения полетов без авиационных происшествий и авиационных инцидентов.

Получается, что существующих мер по обеспечению безопасных полетов при эксплуатации или испытаниях БВС явно недостаточно, требуются дополнительные затраты для проведения мероприятий по контролю и поддержанию безопасности на высоком уровне. В этом случае возникает вопрос не только о размере капиталовложений для закупки средств измерений, контроля и управления (их номенклатура и характеристики известны, в основном это радиолокационные станции мм-диапазона, оптикоэлектронные станции и т.д.), о порядке выполнения организационно-технических задач (примерный перечень задач определен в нормативных документах), сколько об оценке эффективности этих действий.

Целью исследования является формирование и наполнение классификационных группировок оценки мероприятий по обеспечению безопасности во время испытаний и эксплуатации БВС для последующего определения целевых показателей, которые могут быть использованы при определении, например, оптимального состава и топологии различных радиотехнических систем на аэродроме.

### Теоретические основы и методы расчета

Технико-экономическая эффективность при общенаучном классическом подходе определяется как отношение полученного эффекта к затратам [10]:

$$\text{Эф} = \frac{\text{Э}}{\text{З}}, \quad (1)$$

где Э – полученный эффект или полезный результат (например, суммарное количество информации, полученной в ходе оценки характеристик опытного образца БВС); З – затраты (израсходованные материальные, финансовые и трудовые ресурсы в стоимостном выражении).

В общем случае экономическая эффективность механизма хозяйствования и целевого функционирования систем испытаний и эксплуатации БВС определяется достижимостью необходимого эффекта и степенью управляемости затратами в условиях ограниченности материальных и временных ресурсов [11]. Эффективность мероприятий по обеспечению безопасности летных испытаний и эксплуатации является составной частью общей экономической эффективности наземных и летных испытаний и эксплуатации БВС. Она включает оценку оптимального планирования и рационального управления на основе существующих экономических показателей, а также определения фактически полученных результатов с целью исключения возможных рисков в будущем, например, в ходе эксплуатации и целевого применения БВС [12–15]. Анализ проводится применительно к БВС самолетных схем как имеющих лучшие характеристики по дальности и продолжительности полета, по величинам полезной нагрузки, максимальной скорости и перегрузки, и, следовательно, имеющих больше вытекающих из этого рисков.

Классификация показателей эффективности выполнена на основании анализа источников [16–18] и, безусловно, в дальнейшем может быть уточнена или дополнена (основные признаки классификационных группировок показателей эффективности выделены курсивом).

*По виду эффективности различают показатели:*

1. Коммерческие, определяемые для конкретного предприятия-изготовителя БВС при проведении различных видов их исследований или испытаний.

2. Общественные (бюджетные), учитывающие эффекты повышения безопасности граждан и инфраструктуры государства при расходовании бюджетных средств Минобрнауки или Минпромторга России на нужды развития беспилотной авиации.

*По типу показателя:*

1. Прямые показатели эффективности:

– эффективность выполнения целей полета по функциональному назначению или испытаний БВС при соблюдении требований безопасности;

– снижение затратности на разработку и эксплуатацию систем контроля безопасности, на оплату труда персонала, а также на профилактику, оценивание и устранение дефектов.

2. Косвенные показатели эффективности, выражающиеся в повышении качества беспилотных авиационных комплексов, беспилотных летательных аппаратов и сопряженных с ними производств, а именно:

– повышение точности наведения на интересующий объект и выполнения геодезического картографирования;

– увеличение дальности выполнения целевой задачи (например, доставки грузов);

– расширение диапазонов применения опытных образцов (высота, скорость, масса полезной нагрузки и т.д.);

– увеличение достоверности оценки надежности оборудования БВС;

– повышение уровня подготовки внешних пилотов и инженерно-технического состава.

3. Повышение качества элементов экспериментального комплекса для испытаний БВС (измерительных средств, помехового комплекса) и т.д.

*По степени прогнозирования:*

1. Долгосрочные.

2. Краткосрочные.

3. Оперативные – в ходе эксплуатации или летных испытаний в соответствии с их этапами (сначала перечислены этапы полета исправного, а затем неисправного БВС):

– этап непосредственной подготовки к полету (снаряжение БВС, подготовка его к запуску с земли или катапульты и тому подобное);

– с момента начала движения БВС при взлете до момента начала его целевого применения (например, фотографирования, сброса груза, включения целевого оборудования);

– с момента применения БВС (сброса груза, включения оборудования) до момента падения груза на земную поверхность или завершения выполнения поставленной целевой задачи;

– с момента завершения выполнения целевой задачи или падения груза до окончания пробега и остановки двигателей БВС после посадки;

– с момента отказа аварийного БВС (потеря управления, частичного разрушения в результате столкновения) до момента его падения на землю и полного разрушения;

– с момента падения аварийного БВС до момента его обезвреживания (например, сбора разлитого авиационного топлива, тушения возникшего пожара и т.д.).

*По степени регулируемости:*

1. Регулируемые (зависящие от внешнего пилота, руководителя данного центра ответственности или лица, принимающего решения).

2. Нерегулируемые (не зависящие от пилота/руководителя/должностного лица).

*По степени контролируемости:*

1. Контролируемые (поддаются контролю со стороны персонала испытательного (сертификационного) центра или эксплуатирующей организации).

2. Неконтролируемые (не зависят от деятельности субъектов управления).

*По степени соответствия лимитам:*

1. В пределах норм (сметы).
2. С отклонениями от норм.

*По виду располагаемой информации:*

1. Со стохастическими возмущениями (расогласование этапов, диспропорции, нарушение сроков).
2. С детерминированными параметрами (стоимость, степень завершенности работ, временные затраты).

Кроме того, различают абсолютную (общую) экономическую эффективность и сравнительную (относительную) [16–19].

Классификация способов определения эффективности предлагается следующая:

1. Вычисление прямых и косвенных затрат и получаемого экономического эффекта и определение по формуле (1) значения эффективности (затратный подход).
2. Определение альтернативных вариантов затрат и получаемого экономического эффекта (сравнительный подход).

### **Результаты исследования и их обсуждение**

На основании указанных классификационных признаков может быть разработана методика оценки экономической эффективности решений, реализуемых на этапе планирования полетов и в реальном масштабе времени в ходе эксплуатации либо выполнения летных испытаний, особенности которых рассмотрим подробнее. Просчеты в планировании, организации, контроле и управлении мероприятиями по обеспечению безопасности приводят к значительному снижению эффекта в процессе испытаний или эксплуатации БВС (например, при отказе на наземном пункте управления приемника радиотелеметрической информации исправное БВС будет потеряно или уничтожено при столкновении с первым препятствием), вызовет перерасход запланированных материальных ресурсов на восстановление уничтоженных или поврежденных объектов инфраструктуры, экспериментальных средств, помеховой обстановки, измерительных пунктов и средств измерений, обработки и передачи измерительной информации.

Система обеспечения безопасности при проведении летных испытаний или эксплуатации базируется на сопоставлении информации, поступающей от радиоэлектронных систем и комплексов, о ситуации, какой она является на данный момент, и ситуации, определенной заранее планом. Следовательно, для эффективного управления полетами БВС необходима точная и своевременная информация об объекте эксплуатации или испытаний и выполненных подготовительных работах, затраченных средствах, использованном времени и степени завершенности работ. Также должна обеспечиваться возможность корректировки плана полетов или плана организации испытательных работ в части мероприятий по обеспечению безопасности в направлении предупреждения возможного снижения эффекта либо увеличения затрат. Планирование мероприятий по обеспечению безопасности является оптимизационной задачей с ограничениями, которая имеет две постановки:

- обеспечение требуемого эффекта при минимальных затратах и непревышении выделенного времени;
- обеспечение максимального эффекта при заданных допустимых затратах также с лимитированием времени.

В экономике такие задачи называются прямой и обратной задачей оценки технико-экономической эффективности.

Зона опасности включает объекты опасности (другие БВС, самолеты и вертолеты) и объекты безопасности (люди, здания, сооружения) и определяется в процессе моделирования предполагаемой траектории движения полностью управляемого БВС. Одновременно с этим определяется вероятность попадания аварийного БВС в каждый из указанных объектов.

Обобщенное значение вероятности позволяет рассчитать вероятностный ущерб от уничтожения объектов в зоне опасности.

С другой стороны, наличие априорной информации о состоянии бортового оборудования, элементов управления БВС и наземного пункта управления, а также измерительных средств либо испытательного комплекса позволяет рассчитать вероятностные показатели их надежности и спрогнозировать снижение эффекта в ходе летного эксперимента.

Общая эффективность характеризует меру рациональности использования общей суммы затраченных ресурсов для получения желаемого результата. Разработка мероприятий по повышению безопасности в процессе испытаний и эксплуатации БВС в настоящее время строится на соблюдении принципа «повышения безусловной безопасности испытаний и эксплуатации», который заключается как в повышении и безопасности, так и повышении эффективности (рис. 3) [20].

Предложения по повышению безопасности испытаний или эксплуатации зачастую представляются неэффективными с экономической точки зрения, что связано со сложностью выявления и учета экономических затрат и неясностью результатов. Повышения эффективности можно добиться как снижением расходов на мероприятия по обеспечению безопасности на требуемом уровне (то есть экономии затрат при неизменном результате), так и значительным повышением эффекта при фиксированных затратах. Для анализа следует выбирать промежутки времени, достаточные для того, чтобы успели проявиться как положительные, так и отрицательные последствия принимаемых решений.

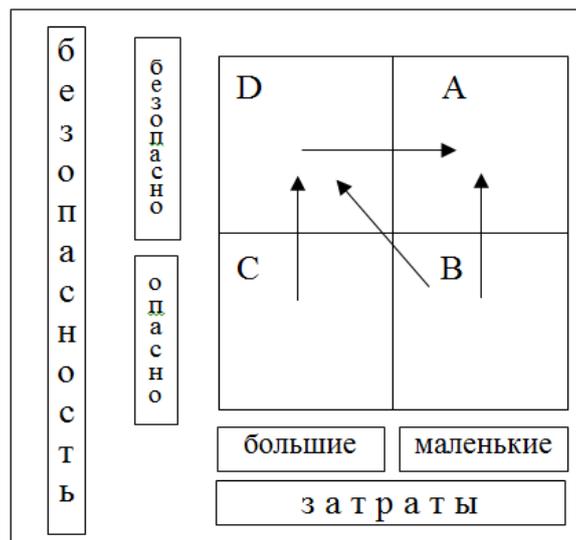


Рис. 3. Реализация принципа «повышения безусловной безопасности испытаний и эксплуатации»

Таким образом, эффективность мероприятий по обеспечению безопасности на этапе планирования испытаний или эксплуатации имеет вероятностную природу, а достоверность оценок определяется количеством располагаемой априорной информации. Часто при анализе материалов с результатами моделирования траектории движения БВС выявляется несоответствие полученных результатов поставленным задачам по обеспечению требований безопасности. После этого должно приниматься решение по корректирующим воздействиям, для чего исходные данные модели уточняются, и производится повторное моделирование до тех пор, пока не будут определены все условия и ограничения, соблюдение которых гарантирует в пределах зоны безусловной безопасности непревышение заданной вероятности отрицательного исхода. Полученные в процессе моделирования допустимые варианты сравниваются по рассчитанным значениям экономической эффективности, и принимается решение о наилучшем варианте по минимаксному критерию (то есть минимальность затрат при

максимальном эффекте и безукоснительном соблюдении требований безопасности). Согласно применяемому в настоящее время ситуационному подходу в процессе летных испытаний или эксплуатации БВС реализуется непрерывное уточнение их траекторных и скоростных параметров. Степень неопределенности информации о зоне возможного падения аварийного БВС и разлете его осколков при взрыве находящегося в нем топлива в течение полета уменьшается, но окончательно уточняется лишь после совместной обработки информации от всех задействованных средств измерений и оценки воздействия поражающих факторов. Важно, что во время полета БВС, имеющих большую дальность полета и поэтому запущенных за пределами зоны испытательного или эксплуатирующего аэродрома, вероятность ошибочной ликвидации БВС, функционирующего нормально, уменьшается с течением времени по экспоненциальному закону, что приводит к увеличению эффективности разработанных в настоящей работе подходов и эффективности летных испытаний либо эксплуатации в целом.

### Выводы

Прикладные научные исследования, направленные на разработку систем безопасности и методологии их применения, должны иметь опережающее развитие по сравнению с выполняемыми опытно-конструкторскими работами по созданию потенциально опасных БВС различного целевого назначения. Оправданность капиталовложений, соответствия необходимому уровню развития и достаточность вспомогательных (по отношению к БВС) систем безопасности определяется критерием их эффективности, классификация показателей которой приведена в настоящей работе.

### Список источников

1. ГОСТ Р 56122–2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113342> (дата обращения: 12.12.2022).
2. McKirdy E., Wang S. Drone's operator detained for flying near Chinese airplane // CNN. 2017. January 17. URL: <https://www.edition.cnn.com/2017/01/17/asia/china-drone-passenger-plane-near-miss> (дата обращения: 04.11.2022).
3. Grubb B. Drone operators involved in athlete's injury referred to Director of Public Prosecutions // The Sydney Morning Herald. 2014. URL: <https://www.smh.com.au/technology/drone-operators-involved-in-athletes-injury-referred-to-director-of-public-prosecutions-20140708-zszsy.html> (дата обращения: 04.11.2022).
4. Borrello S. Drone crashes through window, hits man's head // ABC News. 2016. URL: <https://abcnews.go.com/International/drone-crashes-window-hits-mans-head/story?id=38253589> (дата обращения: 04.11.2022).
5. Дрон-курьер «Почты России» стоимостью в 1,2 млн рублей разбился во время своего первого полета. URL: <https://habr.com/ru/post/411441> (дата обращения: 04.11.2022).
6. Аварийность беспилотных летательных аппаратов. URL: <https://avia.pro/blog/avariynost-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 04.11.2022).
7. Нетребко И. Появилась версия, что упавший на Ставрополье беспилотник – Ту-141 «Стриж». Рассказываем, откуда он мог взяться // Комсомольская правда. URL: <https://www.stav.kp.ru/daily/27445/4647942> (дата обращения: 04.11.2022).
8. Богданов И. Один побежал в кусты, другой пытался уехать: все, что известно о падении странного беспилотника под Волгоградом // V1.RU: Волгоград онлайн. URL: <https://v1.ru/text/gorod/2022/10/12/71730452> (дата обращения: 04.11.2022).
9. Об утверждении Федеральных авиационных правил производства полетов государственной авиации: приказ Министра обороны Рос. Федерации от 24 сент. 2004 г. № 275. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

10. Федюкин В.К. Управление качеством процессов. СПб.: Питер, 2004. 208 с.
11. Актуальные проблемы информационного методического и экономического обеспечения испытаний авиационной техники и подготовки специалистов: материалы VIII Межведомственной науч.-практ. конф. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2014. 314 с.
12. Авдийский В.И., Бауэр В.П. Экономическая безопасность в системе трансформации мировой финансовой архитектуры // Эффективное антикризисное управление. 2010. № 1. С. 42–47.
13. Авдийский В.И., Безденежных В.М. Экономическая безопасность и устойчивость сложных социально-экономических систем // Проблемы развития современных социально-экономических систем: труды Междунар. науч.-практ. конф. 2015. С. 9–24.
14. Гордиенко Д.В. Основы экономической безопасности государства. М.: Финансы и статистика, 2012. 224 с.
15. Ляпина С.Ю. Методология управления рисками стратегического развития промышленных организаций в условиях рынка: монография. М.: Паруса, 2003. 148 с.
16. Технологическое развитие авиационной техники: глобальные тенденции и национальные интересы России – 2021: труды I науч.-практ. конф. / под общ. ред. А.В. Дутова, В.С. Шапкина, В.В. Ключкова. М.: НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского», 2021. 316 с.
17. Управление научно-технологическим развитием высокотехнологичной промышленности: проблемы и решения: монография / под общ. ред. А.В. Дутова, В.В. Ключкова. М.: НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского», 2019. 248 с.
18. Мельник М.В. Анализ и оценка систем управления на предприятиях. М.: Финансы и статистика, 1990. 210 с.
19. Повышение эффективности системы испытаний авиационной техники военного назначения на основе ресурсосберегающих технологий: тр. науч.-техн. конф. войсковой части 15650 / под ред. И.С. Мироненко. Ч. 2. Ахтубинск, 2005. 296 с.
20. Лапидус Б.М. Техническая политика как инструмент реализации экономической стратегии на железнодорожном транспорте. Подходы к методологии: монография. М.: Маршрут, 2004. 208 с.

## References

1. GOST R 56122–2014. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Vozdushnyj transport. Bepilotnye aviacionnye sistemy. Obshchie trebovaniya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113342> (data obrashcheniya: 12.12.2022).
2. McKirdy E., Wang S. Drone's operator detained for flying near Chinese airplane // CNN. 2017. January 17. URL: <https://www.edition.cnn.com/2017/01/17/asia/china-drone-passenger-plane-near-miss> (data obrashcheniya: 04.11.2022).
3. Grubb B. Drone operators involved in athlete's injury referred to Director of Public Prosecutions // The Sydney Morning Herald. 2014. URL: <https://www.smh.com.au/technology/drone-operators-involved-in-athletes-injury-referred-to-director-of-public-prosecutions-20140708-zszsy.html> (data obrashcheniya: 04.11.2022).
4. Borrello S. Drone crashes through window, hits man's head // ABC News. 2016. URL: <https://abcnews.go.com/International/drone-crashes-window-hits-mans-head/story?id=38253589> (data obrashcheniya: 04.11.2022).
5. Dron-kur'er «Pochty Rossii» stoimost'yu v 1,2 mln rublej razbilsya vo vremya svoego pervogo poleta. URL: <https://habr.com/ru/post/411441> (data obrashcheniya: 04.11.2022).
6. Avarijnost' bepilotnyh letatel'nyh apparatov. URL: <https://avia.pro/blog/avariynost-bepilotnyh-letatelnyh-apparatov> (data obrashcheniya: 04.11.2022).
7. Netrebko I. Poyavilas' versiya, chto upavshij na Stavropol'e bepilotnik – Tu-141 «Strizh». Rasskazyvaem, otkuda on mog vzyat'sya // Komsomol'skaya pravda. URL: <https://www.stav.kp.ru/daily/27445/4647942> (data obrashcheniya: 04.11.2022).

8. Bogdanov I. Odin pobezhal v kusty, drugoj pytalsya uekhat': vse, chto izvestno o padenii strannogo bespilotnika pod Volgogradom // V1.RU: Volgograd onlajn. URL: <https://v1.ru/text/gorod/2022/10/12/71730452> (data obrashcheniya: 04.11.2022).
9. Ob utverzhenii Federal'nyh aviacionnyh pravil proizvodstva poletov gosudarstvennoj aviacii: prikaz Ministra oborony Ros. Federacii ot 24 sent. 2004 g. № 275. Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».
10. Fedjukin V.K. Upravlenie kachestvom processov. SPb.: Piter, 2004. 208 s.
11. Aktual'nye problemy informacionnogo metodicheskogo i ekonomicheskogo obespecheniya ispytaniy aviacionnoj tekhniki i podgotovki specialistov: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. Volgograd: Izd-vo VolGU, 2014. 314 s.
12. Avdijskij V.I., Bauer V.P. Ekonomicheskaya bezopasnost' v sisteme transformacii mirovoj finansovoj arhitektury // Effektivnoe antikrizisnoe upravlenie. 2010. № 1. S. 42–47.
13. Avdijskij V.I., Bezdenezhnyh V.M. Ekonomicheskaya bezopasnost' i ustojchivost' slozhnyh social'no-ekonomicheskikh sistem // Problemy razvitiya sovremennyh social'no-ekonomicheskikh sistem: trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2015. S. 9–24.
14. Gordienko D.V. Osnovy ekonomicheskoy bezopasnosti gosudarstva. M.: Finansy i statistika, 2012. 224 s.
15. Lyapina S.Yu. Metodologiya upravleniya riskami strategicheskogo razvitiya promyshlennyh organizacij v usloviyah rynka: monografiya. M.: Parusa, 2003. 148 s.
16. Tekhnologicheskoe razvitie aviaostroeniya: global'nye tendencii i nacional'nye interesy Rossii – 2021: trudy I nauch.-prakt. konf. / pod obshch. red. A.V. Dutova, V.S. Shapkina, V.V. Klochkova. M.: NIC «Institut im. N.E. Zhukovskogo», 2021. 316 s.
17. Upravlenie nauchno-tekhnologicheskimi razvitiem vysokotekhnologichnoj promyshlennosti: problemy i resheniya: monografiya / pod obshch. red. A.V. Dutova, V.V. Klochkova. M.: NIC «Institut im. N.E. Zhukovskogo», 2019. 248 s.
18. Mel'nik M.V. Analiz i ocenka sistem upravleniya na predpriyatiyah. M.: Finansy i statistika, 1990. 210 s.
19. Povyshenie effektivnosti sistemy ispytaniy aviacionnoj tekhniki voennogo naznacheniya na osnove resursoberegayushchih tekhnologij: tr. nauch.-tekhn. konf. vojskovoju chasti 15650 / pod red. I.S. Mironenko. Ch. 2. Ahtubinsk, 2005. 296 s.
20. Lapidus B.M. Tekhnicheskaya politika kak instrument realizacii ekonomicheskoy strategii na zheleznodorozhnom transporte. Podhody k metodologii: monografiya. M.: Marshrut, 2004. 208 s.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 11.01.2023; одобрена после рецензирования: 07.02.2023;  
принята к публикации: 14.02.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 11.01.2023; approved after review: 07.02.2023;  
accepted for publication: 14.02.2023

*Информация об авторах:*

**Гетманцев Алексей Юрьевич**, доцент кафедры филиала «Взлет» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) (416501, Астраханская обл., г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, д. 5), кандидат технических наук, доцент, e-mail: tomamens@mail.ru

*Information about the authors:*

**Getmantsev Alexey Yu.**, associate professor of the department of the «Take-off» branch of the Moscow aviation institute (national research university) (416501, Astrakhan region, Akhtubinsk, Dobrolyubova str., 5), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: tomamens@mail.ru

Научная статья

УДК 614.8

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

✉ **Королев Денис Сергеевич.**

**Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия.**

**Калач Андрей Владимирович.**

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

**Кончаков Сергей Александрович.**

**Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия**

✉ [otrid@rambler.ru](mailto:otrid@rambler.ru)

*Аннотация.* Постоянно увеличивающийся объем потоков в информационных системах МЧС России диктует привлечение всевозрастающего количества человеческих и временных ресурсов на их обработку, что негативно отражается на своевременной и эффективной поддержке принятия управленческих решений. При этом постоянный доступ ко всем необходимым информационным массивам и ресурсам в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций позволяет предупреждать чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, осуществлять мониторинг опасных и неблагоприятных природных явлений и техногенных процессов. В статье приведено описание интеллектуального алгоритма обработки данных, эффективность работы которого доказана при верификации на базе центра управления в кризисных ситуациях при классификации сведений, поступающих со сторонних программных продуктов. Рассчитана вероятность безотказной работы автоматизированной системы и показаны возможности и перспективы ее использования.

*Ключевые слова:* пожарная безопасность, управление, алгоритм, база данных, управленческое решение

**Для цитирования:** Королев Д.С., Калач А.В., Кончаков С.А. Совершенствование технических интеллектуальных систем обнаружения и мониторинга лесных пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 105–113.

Scientific article

## **IMPROVEMENT OF TECHNICAL INTELLIGENT SYSTEMS FOR DETECTING AND MONITORING FOREST FIRES**

✉ **Korolev Denis S.**

**Voronezh state technical university, Voronezh, Russia.**

**Kalach Andrey V.**

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

**Konchakov Sergey A.**

**Academy of State fire services EMERCOM of Russia, Moscow, Russia**

*Abstract.* The constantly increasing volume of flows in the information systems of the EMERCOM of Russia dictates the involvement of a all kind of human and temporary resources for their processing, which negatively affects the timely and effective support of managerial decisions. At the same time, constant access to all necessary information arrays and resources within

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

the framework of the unified state system of preventing and eliminating emergency situations allows us to prevent emergencies of natural and technogenic in nature, monitor dangerous and adverse natural phenomena, and technogenic processes. The article provides a description of the intellectual data processing algorithm, the effectiveness of which is proved during verification on the basis of the Crisis Center for the classification of information coming from third-party software products. We calculated the probability of non-precise operation of an automated system and shows the possibilities and prospects of its use.

*Keywords:* fire safety, management, algorithm, database, management solution

**For citation:** Korolev D.S., Kalach A.V., Konchakov S.A. Improvement of technical intelligent systems for detecting and monitoring forest fires // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 105–113.

## Введение

Обеспечение природно-техногенной безопасности территорий является национальным стратегическим приоритетом России, а развитие современных технологий получения и обработки данных, рост объемов детализированной информации об объектах и процессах окружающей среды и техносферы, повышение точности моделей чрезвычайных ситуаций (ЧС), накопление опыта управления в нештатных ситуациях создают условия для построения принципиально новых информационно-аналитических систем комплексной поддержки управления территориальной безопасностью. Не являются исключением различные пожаровзрывоопасные отрасли, представляющие собой сложную организационно-техническую систему, успешное функционирование которой обеспечивается за счет применения гибких, адаптивных, институциональных и структурных подходов, минимизируя риск возникновения ЧС техногенного характера [1, 2]. Поэтому обеспечение пожарной безопасности уже немыслимо без цифровых систем мониторинга и контроля в режиме реального масштаба времени [3]:

- цифровая пожарная и производственная автоматика – для мониторинга показателей пожаровзрывобезопасности на месторождениях, внутрискважинного оборудования; трубопроводов; наземной инфраструктуры; параметров технологического процесса и т.д. [4];

- программно-аппаратный комплекс (ПАК) «Лесохранитель» – для мониторинга лесопожарной обстановки субъекта Российской Федерации [5];

- система космического мониторинга МЧС России и приложение по термическим точкам – для контроля обстановки с пожарами, оперативного реагирования [6];

- автоматизированная информационно-управляющая система (АИУС) – расчет параметров зоны поражения при различных ЧС [7];

- атлас рисков и опасностей – для контроля и уточнения метеорологической обстановки и т.д. [8];

- аппаратно-программный комплекс (АПК) «Безопасный город» – система контроля и координации органов повседневного управления, обеспечение информационной поддержки [9].

При такой организации системы отслеживания решается целый комплекс практических антикризисных задач:

- контроль параметров/обстановки в режиме реального времени;
- своевременное реагирование на изменение параметров/обстановки;
- разработка и реализация превентивных мероприятий;
- своевременное оповещение людей об опасности;
- запуск вспомогательных систем и т.д.

Постоянно увеличивающийся массив данных, получаемый с различных мониторинговых (телекоммуникационных) систем, требует особого внимания по формированию специальных баз данных, обладающих комплексом недостатков (табл. 1).

**Основные недостатки современных баз данных [10]**

№ п/п	Основные недостатки	Примеры баз данных
1	Плохая поддержка неструктурированных данных	Oracle DB, MySQL, PostgreSQL
2	Неудовлетворительная оптимизация полученных параметров	Oracle DB, MySQL, PostgreSQL
3	Сложное масштабирование	Oracle DB, MySQL, PostgreSQL, Redis, Tarantool, Apache Ignite
4	Слабая аналитическая поддержка	MongoDB, Cassandra, HBase, Elastic
5	Неудовлетворительная надежность	Redis, Tarantool, Apache Ignite
6	Привязка к определенному формату записи данных	Cassandra, HBase
7	Пакетные вставки	Vertica, Clickhouse, Elastic
8	Специальный язык запросов	Neo4j
9	Неудовлетворительная способность передачи данных	MongoDB

Однако современные достижения в области цифровых технологий, интеллектуальные алгоритмы и современные методы обработки данных позволят успешно внедрять, применять, обрабатывать и хранить информационные потоки [11], исключая потери: критически важных сведений, при осуществлении межведомственного взаимодействия, скорости информирования населения при угрозе или произошедшей ЧС, скорости реагирования на сигналы от пожарной и производственной автоматики, скорости обработки данных и т.д. Таким образом, основной целью работы является интеграция интеллектуального алгоритма обработки информации при помощи искусственных нейронных сетей (ИНС) в процесс формирования базы данных о состоянии лесопожарной обстановки.

**Применение ИНС как метода интеллектуальной обработки данных**

Последнее время происходит повсеместное внедрение технологии ИНС: автоматизация технологических процессов, адаптивное управление, прогнозирование, проведение глубокой аналитики данных и т.д., обусловленное возросшим потоком получаемой динамической информации, превышая человеческие возможности контролировать и оперативно реагировать на нее. Успешное решение такой проблемы достигается за счет использования алгоритма обучения и работы ИНС по обработке информационных потоков, получаемых с систем контроля, представленного на рис. 1.

Отличительной особенностью процесса обучения ИНС является распознавание эталонных паттернов, используемых для обучения и сравнения с информацией, получаемой с автоматики. В дальнейшем, оптимизируя алгоритм и получая новый объем информации, ИНС будет совершенствоваться. Парадигма обучения ИНС с учителем позволит определить погрешность работы модели при рассчитанных коэффициентах и наличия удовлетворительного результата прогноза. Такая реализация возможна при использовании математического аппарата, представленного в формулах (1–5). Отметим, что весь процесс базируется на коррекции ошибок, позволяющей реализовывать метод оптимальной фильтрации.

$$y_i^k(n) = f(s_i^k(n)) ; \quad (1)$$

$$y_i^k(n) = \sum_{j=0}^{N_{k-1}} w_{i,j}^k \cdot x_j^k(n) ; \quad (2)$$

$$e_i^k(n) = \frac{d_i^L(n) - y_i^L(n), k = L}{\sum_{m=1}^{N_{k+1}} \delta_m^{k+1}(n) \cdot w_{m_i}^{k+1}(n), k = 1 \dots L-1} ; \quad (3)$$

$$\delta_i^k(n) = e_i^k(n) \cdot f'(s_i^k(n)) ; \quad (4)$$

$$w_{ij}^k(n+1) = w_{ij}^k(n) + 2 \cdot \delta_i^k(n) \cdot \gamma \cdot x_j^k(n) . \quad (5)$$

где  $y$  – результат прогноза результата ИНС;  $e$  – величина ошибки работы ИНС относительно полученных значений с датчиков и эталонных значений;  $w$  – рассчитываемые коэффициенты;  $n$  – количество сигналов;  $\delta$  – входной вектор;  $\chi$  – выходной сигнал;  $\gamma$  – веса;  $s$  – взвешенная сумма;  $f$  – активационная функция;  $d$  – скрытый слой;  $k$  – число нейронов;  $L$  – продолжительность сигнала.



Рис. 1. Алгоритм функционирования и обучения ИНС

### Результаты исследования

Определим эффективность работы модели и алгоритма на базе центра управления в кризисных ситуациях в отделе мониторинга, прогнозирования и организации проведения превентивных мероприятий (ОМПОППМ). В своей повседневной деятельности специалисты отдела выполняют следующий комплекс задач:

- мониторинг обстановки на территории Воронежской области при помощи современных информационных систем наблюдения;
- разработка прогнозов развития и возникновения ЧС, моделей ЧС и доведение до территориальной подсистемы Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ТП РСЧС);
- подготовка и контроль выполнения превентивных мероприятий;
- обработка, анализ и сбор информации, что представляет собой сложную, рутинную, требующую много временных ресурсов работу.

Смоделируем ситуацию сбора и обработки информационного потока, поступающего с камер видеонаблюдения ПАК «Лесохранитель», осуществляющий контроль за лесопожарной обстановкой области. Основной принцип работы заключается в обнаружении горения области леса, а затем информация передается по серверному программному обеспечению, формируя базу данных (рис. 2).

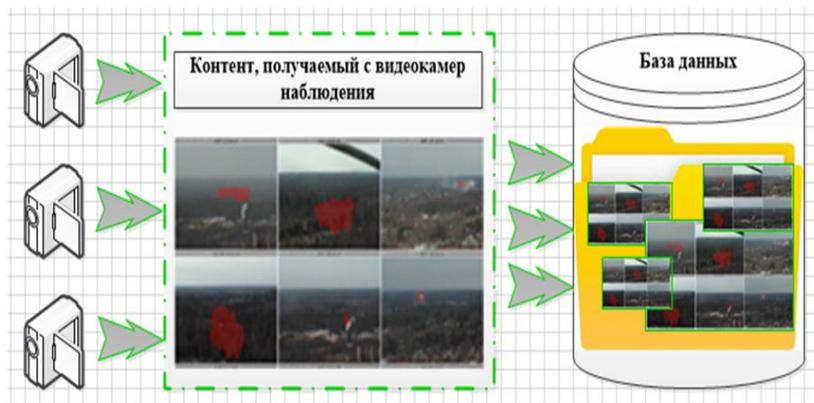


Рис. 2. Принципиальная схема формирования базы данных

В случае деструктивных событий на место предполагаемого возгорания высылается оперативная группа (ОГ) местного гарнизона пожарной охраны (МГПО) и одновременно через единую дежурную диспетчерскую службу информация доводится до глав органов местного самоуправления и собственников территорий. По прибытии ОГ МГПО в оперативную дежурную службу центра управления в кризисных ситуациях высылаются фотоматериалы и рапорт о результатах анализа территории. В случае подтверждения предварительной информации специалистом отдела ОМПОППМ организуется работа по прогнозированию возможного развития ситуации с учетом особенностей подстилающей поверхности, метеорологических сведений в районе нахождения очагов природных пожаров (термических точек), массива данных, получаемых с камер. И далее сотрудник сталкивается с рядом проблем: плохая поддержка неструктурированных сведений, сложное масштабирование, слабая аналитическая поддержка, информационные данные представляют собой «однородную массу» и т.д. Как итог, оперативно определить направление развитие неконтролируемого горения с целью концентрации основного эшелона сил и средств для решающего направления не предоставляется возможным. Поэтому в качестве решения проблемы применим разработанный алгоритм и модель интеллектуальной обработки информационных потоков (рис. 3).

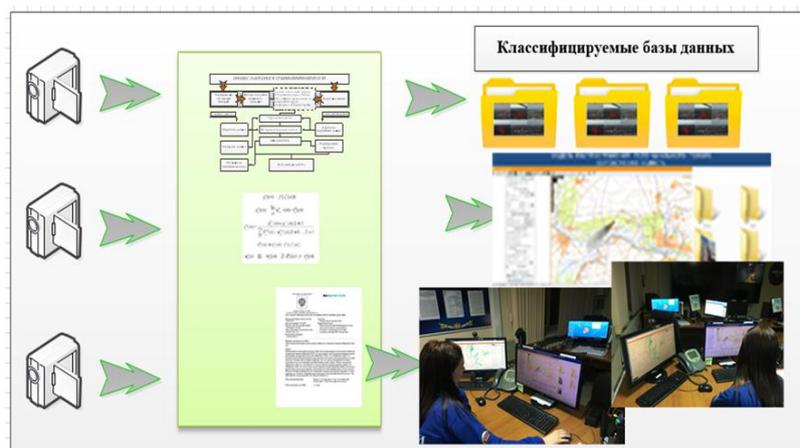


Рис. 3. Процесс классификации информационных потоков

В ходе эксперимента специалист отдела мониторинга минимизировал свое участие в классификации сведений по базам данных, а спустя несколько минут использовал готовый материал для расчета зоны распространения условного пожара.

Стоит отметить, что при интеграции интеллектуального скрипта в рабочую систему программного обеспечения требуется профессиональная отладка и оценка эффективности и надежности работы. В табл. 2 представлены результаты тестирования программы.

Таблица 2

**Параметры тестирования**

№ п/п	Номер этапа	Время проведения тестирования, ч	Количество ошибок за время тестирования, шт.
1	I	2	5
2	II	8	3
3	III	6	0
4	IV	24	3
5	V	11	1
6	VI	10	2
7	VII	9	3
8	VIII	11	2
9	IX	7	0

Определим количество суммарных ошибок, зарегистрированных на каждом этапе тестирования, по формуле (6):

$$n_j = m_1 + m_2 + \dots + m_j \quad ; \tag{6}$$

$$n_j = 19 \quad ,$$

где  $n_j$  – общее количество ошибок в эксперименте;  $m_j$  – количество ошибок в эксперименте.

Затем по формуле (7) выразим первоначальное количество дефектов в программе:

$$n \sum_{j=1}^k m_j \cdot \frac{\sum_{j=1}^k t_j}{\sum_{j=1}^k \frac{m_j}{N - n_{j-1}}} = \sum_{j=1}^k (N - n_{j-1}) \cdot t_j \quad , \tag{7}$$

где  $k$  – общее число этапов эксперимента;  $m_j$  – количество ошибок программы;  $t_j$  – длительность тестирования, ч;  $N$  – дефекты в программе.

При завершении всех этапов тестирования программы, необходимо подобрать такое значение  $N$ , при котором обе части уравнения будут приблизительно совпадать с некоторой точностью. В нашем случае такое значение равняется 11.

Следующим этапом является определение интенсивности зарегистрированных ошибок по формуле Шумана (8) и ошибок программы (9):

$$\lambda_k = C \cdot (N - n_k) \quad , \tag{8}$$

где  $C$  – коэффициент пропорциональности;  $n_k$  – величина ошибки из  $k$  – эксперимента;  $\lambda_k$  – интенсивность зарегистрированных ошибок.

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{m_j}{N - n_{j-1}}}{\sum_{j=1}^k t_j} \cdot (N - n_n) = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{19}{11 - (5; 3; 3 \dots 2)}}{\sum_{j=1}^k 24} \cdot (11 - (5; 3; 3 \dots 2)) = 0,017 (1/ч) . \quad (9)$$

Тогда среднюю наработку до возникновения ошибки в программе определим по формуле (10), а вероятность хотя бы однократного выполнения программы по формуле (11):

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0017} = 58,82 \text{ ч} ; \quad (10)$$

$$P = (1 - \frac{\lambda}{\gamma}) / P_n = (1 - \frac{0,017}{3600}) / 1 = 1 - 4,75 \cdot 10^{-6} . \quad (11)$$

Следующим этапом является определение надежности работы программы в течение заданного периода времени (24 ч) по формуле (12):

$$P(t) = \exp(-Xt) = \exp(-24 \cdot 0,017) \geq 0,66 . \quad (12)$$

Определим вероятность отсутствия отказов в работе системы в течение заданного времени (24 ч) по формуле (13):

$$P_0(t) = P_{00}(t) \cdot [1 - (1 - \alpha \cdot \beta) g_{\phi_0} \cdot (1 - \exp(-\lambda t))] = \exp(-24 \cdot 10^{-6}) [1 - (1 - 0,99 \cdot 0,95) \cdot 0,01 \cdot (1 - \exp(-24 \cdot 0,017))] = 1 - 0,88 \cdot 10^{-4} . \quad (13)$$

### Заключение

В рамках перевода системы антикризисного управления от реагирования к предупреждению ЧС одним из ключевых факторов является внедрение и применение современных информационных технологий в деятельность органов повседневного управления МЧС России. Отсюда научной новизной будет являться нейросетевая скрипт-модель обработки динамических информационных потоков.

Показан эксперимент по интеграции интеллектуального алгоритма обработки информации и формировании базы данных на примере классификации сведений о лесопожарной обстановке, поступающих с автоматике. Рассчитана вероятность безотказной работы системы, которая составила  $1 - 0,88 \cdot 10^{-4}$  в течение заданного времени, что является хорошим показателем.

### Список источников

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (одобр. Сов. Федерации 11 июля 2008 г.) // Рос. газ. 2008. № 163; Собр. законодательства Рос. Федерации. 2008. № 30 (ч. I). Ст. 3579.
2. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Рос. Федерации от 2 июля 2021 г. № 400 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2021. № 27. Ст. 5351.
3. Королев Д.С. Разработка предиктивного способа поведения цифрового оборудования применяемого в нефтегазовой отрасли // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 2 (21). С. 7–12.

4. Королев Д.С., Минкин Д.Ю. Методика работы интегрированной цифровой системы пожарной автоматики с газоанализирующим оборудованием // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 1 (57). С. 32–38.

5. Самсонова И.Д., Кондратьев А.С. Оценка состояния охраны лесов от пожаров в Новгородской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. № 235. С. 57–70.

6. Topolsky N.G., Gavrilov A.S. The use of space pictures for monitoring and forecasting of natural and man-made emergencies // Proceedings of the international scientific and technical conference «Safety Systems». 2014. № 23. С. 17–19.

7. Измалков В.А. Современные тенденции развития программного и других видов обеспечения АИУС РСЧС // Технологии гражданской безопасности. 2018. Т. 15. № 4 (58). С. 48–51.

8. Кайгородцев Е.А., Щербенко Е.В. Информационные технологии и платформенные решения системы предупреждения чрезвычайных ситуаций // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2021. № 3 (3). С. 43–48.

9. Качанов С.А., Попов А.П. О месте аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» в концепции «Умный город» // Технологии гражданской безопасности. 2019. Т. 16. № 3 (61). С. 4–9.

10. Alekseev K. Relational database problems // Кибернетика и программирование. 2020. № 2. С. 7–18.

11. Думинова Д.В., Тарасевич А.Л. Применение информационных технологий в системе управления информационными потоками // Экономика и социум. 2019. № 11 (66). С. 982–990.

## References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (odobr. Sov. Federacii 11 iyulya 2008 g.) // Ros. gaz. 2008. № 163; Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2008. № 30 (ch. I). St. 3579.

2. O Strategii nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 2 iyulya 2021 g. № 400 // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2021. № 27. St. 5351.

3. Korolev D.S. Razrabotka prediktivnogo sposoba povedeniya cifrovogo oborudovaniya primenyaemogo v neftegazovoj otrasli // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2021. № 2 (21). S. 7–12.

4. Korolev D.S., Minkin D.Yu. Metodika raboty integrirovannoj cifrovoj sistemy pozharnoj avtomatiki s gazoanaliziruyushchim oborudovaniem // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 1 (57). S. 32–38.

5. Samsonova I.D., Kondrat'ev A.S. Ocenka sostoyaniya ohrany lesov ot pozharov v Novgorodskoj oblasti // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2021. № 235. S. 57–70.

6. Topolsky N.G., Gavrilov A.S. The use of space pictures for monitoring and forecasting of natural and man-made emergencies // Proceedings of the international scientific and technical conference «Safety Systems». 2014. № 23. P. 17–19.

7. Izmailkov V.A. Sovremennye tendencii razvitiya programmno go i drugih vidov obespecheniya AIUS RSCHS // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2018. Т. 15. № 4 (58). S. 48–51.

8. Kajgorodcev E.A., Shcherbenko E.V. Informacionnye tekhnologii i platformennye resheniya sistemy preduprezhdeniya chrezvychajnyh situacij // Aktual'nye problemy bezopasnosti v tekhnosfere. 2021. № 3 (3). S. 43–48.

9. Kachanov S.A., Popov A.P. O meste apparatno-programmnogo kompleksa «Bezopasnyj gorod» v koncepcii «Umnyj gorod» // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2019. Т. 16. № 3 (61). S. 4–9.

10. Alekseev K. Relational database problems // Kibernetika i programmirovaniye. 2020. № 2. S. 7–18.
11. Duminova D.V., Tarasevich A.L. Primeneniye informacionnykh tekhnologij v sisteme upravleniya informacionnymi potokami // Ekonomika i socium. 2019. № 11 (66). S. 982–990.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 17.01.2023; одобрена после рецензирования: 30.01.2023; принята к публикации: 03.02.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 17.01.2023; approved after review: 30.01.2023; accepted for publication: 03.02.2023

*Информация об авторах:*

**Королев Денис Сергеевич**, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394000, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84), кандидат технических наук, e-mail: otrid@rambler.ru

**Калач Андрей Владимирович**, главный научный сотрудник отдела пожарной безопасности транспорта НИИ перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), доктор химических наук, профессор, почетный работник сферы образования Российской Федерации, e-mail: a\_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, Author ID 57201667604

**Кончаков Сергей Александрович**, заместитель начальника УНК – начальник кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук

*Information about the authors:*

**Korolev Denis S.**, associate professor of the department of technosphere and fire safety of Voronezh state technical university (394000, Voronezh, ul. 20 let Oktyabrya, 84), candidate of technical sciences, e-mail: otrid@rambler.ru

**Kalach Andrey V.**, chief researcher of the department of fire safety of transport of the Research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (193079, Saint-Petersburg, Oktyabrskaya emb., 35), doctor of chemical sciences, professor, honorary worker of education of the Russian Federation, e-mail: a\_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, Author ID 57201667604

**Konchakov Sergey A.**, deputy head of the ESC – head of the department of civil defense, protection of the population and territories of the Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin str., 4), candidate of technical sciences

Научная статья  
УДК 502.504; 628.54

## **МЕТОД ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УГРОЗ И РИСКОВ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ТЕХНОСФЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

✉ Цховребов Эдуард Станиславович;

Гордиенко Алексей Николаевич

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

✉ [rebrovstanislav@rambler.ru](mailto:rebrovstanislav@rambler.ru)

*Аннотация.* Целью настоящего исследования является разработка теоретико-методических подходов к прогнозированию и оценке экологических угроз и рисков в процессе функционирования техносферных объектов (в первую очередь объектов строительства и городского хозяйства). Задачами исследования служат: изучение, обобщение, систематизация методов оценки техносферных опасностей, негативного влияния отходов на природную среду; формирование принципов, подходов, направленных на обеспечение экологической безопасности и снижение техногенных рисков; выбор оптимальных методов исследования и прогноза экологической опасности; разработка метода определения экологических рисков для оценки комплексной безопасности техносферных территорий. Используемый в работе методический подход направлен на предупреждение образования отходов и снижение класса их экологической опасности в источниках возникновения посредством максимального использования материалов и сырья, повторного применения полезных ресурсных компонентов. Методика исследования основывалась на применении логико-аналитических, математических, качественных детерминированных исследовательских методов, дающих возможность полноценно и обоснованно сформировать комплекс прогнозных показателей, определяющих риски экологической опасности, параметры экологически безопасного обращения с завершившей эксплуатацию продукцией, предупреждая ее трансформацию в экологически опасные техносферные объекты – отходы производства и потребления. Разработанные теоретические подходы, рекомендации по определению экологических рисков могут быть использованы составной частью при оценке комплексной безопасности промышленных и иных объектов, техносферных территорий, рисков наступления неблагоприятных последствий техногенного характера при нарушении требований строительства и эксплуатации объектов недвижимости, прогнозировании, предупреждении чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

*Ключевые слова:* прогнозирование, экологический риск, отходы, экологическая безопасность, техносферные территории, жизнеобеспечение, предупреждение, чрезвычайные ситуации

**Для цитирования:** Цховребов Э.С., Гордиенко А.Н. Метод оценки экологических угроз и рисков при функционировании техносферных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 114–126.

Scientific article

## **A METHOD FOR ASSESSING ENVIRONMENTAL THREATS AND RISKS IN THE OPERATION OF TECHNOSPHERE OBJECTS**

**Tshovrebov Eduard S.;**

**Gordienko Alexey N.**

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

*Abstract.* The purpose of this study is to develop theoretical and methodological approaches to forecasting environmental risks in assessing the integrated security of real estate objects, as well as settlements as historically established technosphere territories. The objectives of the research are: the study, generalization, systematization of methods for assessing technosphere hazards, the negative impact on the environment of waste-generating activities, the risks and damages that arise in this case; the formation of principles, approaches aimed at ensuring environmental safety and reducing technogenic risks; the choice of optimal methods for research and forecasting environmental hazards; the development of a method for determining environmental risks to assess the integrated security of technosphere territories. The methodological approach used in the study was the result of the application of the research methodology based on the generally accepted priorities of waste management: prevention of their formation and reduction of the environmental hazard class in the sources of occurrence through the maximum use of materials and raw materials, reuse of useful waste components and their involvement in economic turnover. The methodology of processing the results of the study was based on the adaptation of information-analytical, statistical, logical, mathematical, qualitative deterministic and other research methods that make it possible to comprehensively, fully and reasonably form a set of indicators that determine the risks of environmental hazards, parameters, criteria for environmentally safe handling of products that have completed operation, used in operation, preventing its transformation in environmentally hazardous technosphere objects – waste of production and consumption. The developed theoretical approaches and recommendations for determining environmental risks can be used as an integral part in assessing the integrated safety of industrial and other facilities, technosphere territories, the risks of the occurrence of adverse consequences of a technogenic nature in violation of the requirements of construction and operation of real estate, forecasting, prevention of emergency situations of a technogenic nature.

*Keywords:* forecasting, environmental risk, waste, environmental safety, technosphere territories, life support, prevention, emergencies

**For citation:** Tshovrebov E.S., Gordienko A.N. A method for assessing environmental threats and risks in the operation of technosphere objects // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 114–126.

### **Введение**

Результаты осуществления хозяйственной деятельности содержат в себе угрозы и риски загрязнения природных, природно-антропогенных объектов и компонентов природной среды: атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, недр, земель, растительного, животного мира и иных организмов. Наиболее массовыми загрязнителями являются предметы и вещества в виде частей, остатков, неустранимых потерь использованной в процессах жизнедеятельности продукции [1–5].

Ретроспективный анализ подходов к оценке экологического риска показал, что в современных исследованиях в основном акцент делается на применении статистического анализа, ранжирования, математического моделирования, вероятностных оценок потенциально опасных ситуаций и наступающих в результате последствий, риска – как возможной опасности какого-либо неблагоприятного исхода, функции частоты событий и неблагоприятных последствий каждого события [6–10]. В связи с этим наибольшее распространение получили подходы и методы: определения риска как математического ожидания ущерба по всем видам ущербов, оценки среднего значения ущерба от опасного события за интервал времени, по динамике смертности, числу пострадавших. Означенные подходы лишь фиксируют возможные неблагоприятные события, но не вскрывают условия, глубинные причины, внешние и внутренние факторы, связи между ними, приводящие к зарождению (а не возникновению, появлению) экологического риска как такового на производстве и в процессах жизнедеятельности.

При решении актуальных на современном этапе социально-экономического развития нашей страны проблем обеспечения состояния защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможных чрезвычайных ситуаций техногенного характера на первый план выходят задачи: формирования принципиально новых научно-методических подходов, основанных на принципах предупреждения экологической опасности в источниках ее зарождения, а также разработки методов прогноза предотвращенного риска, вызванного угрозой нанесения экологического вреда и экономического ущерба природным ресурсам.

Предлагаемые новые подходы к решению поставленных в исследовании задач соответствуют стратегическим целям обеспечения экологической безопасности, приоритетным направлениям государственной политики в области обращения с отходами, принципам: «Zero waste» (ноль отходов), «Circular Economy» (экономика замкнутого цикла) [11–15], современным ресурсно-экологическими концепциям [16, 17], основываются на результатах научных исследований в области экологической безопасности [18–20].

Методы исследования базируются на сочетании количественных и качественных инструментах системного анализа, метода «Предварительный анализ опасности» (Process Hazards and Analysis – PHA), позволяя не только прогнозировать экологические риски, но и планировать меры их предупреждения, направленные на достижение состояния защищенности природной среды от воздействия техносферных объектов.

### Результаты исследования

Актуальная и значимая задача разработки теоретических подходов и методов определения экологических рисков в результате негативного воздействия техносферных объектов, развития методов оценки риска для обоснования принципов и мер экологической безопасности производственной, строительной и иной деятельности представлена в работе на новой концептуальной основе. Ее принципиальное отличие состоит в том, что «отходы» как предмет нормативно-технического регулирования выступают в виде консолидированного понятия, характеризующего составляющие техносферной опасности: а) источник зарождения (технологический процесс, жизнедеятельность); б) объект (сбросы, выбросы либо образованные предметы и вещества, возникшие в процессе производства товаров, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления); в) условия (возникшие, но не извлеченные из загрязненных компонентов природных (вода, воздух, почвы) или техносферных объектов (использованная продукция) ценные сырьевые ресурсы, поступающие в опасном состоянии в окружающую среду; г) результат: техносферное загрязнение.

В работе излагается новая научная позиция: проблемы регулирования техносферных воздействий, искусственно разделенные в прошлом столетии на загрязнение вод, воздуха, земель, подлежат комплексному исследованию в формате предотвращения размещения

в природной среде ценных вторичных ресурсов в составе выбросов, сбросов, отходов, реализуя стратегию перехода техносферных территорий на ресурсосберегающий технологический уклад.

С учетом изложенного, гипотеза исследования состоит в том, что предупреждения экологической опасности можно добиться при условии всестороннего обоснования, перспективного планирования, прогнозирования, реализации на всех стадиях инвестиционного процесса мероприятий по предупреждению образования техносферных объектов в виде и состоянии экологически опасных отходов. При этом приоритетными и наиболее эффективными такие меры и действия будут являться на ранних стадиях обоснования намечаемой хозяйственной деятельности, на которых формируются риски зарождения техносферных опасностей в результате непроработанных в ресурсосберегающем, природоохранном, санитарно-гигиеническом и иных аспектах проектно-изыскательских решений. Речь идет о предпроектной стадии инвестиционного процесса: этапах разработки бизнес-планов, территориальных, региональных и отраслевых схем развития, оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). В противном случае непродуманные решения по обоснованию хозяйственной деятельности, уже содержащие в себе потенциальные экологические и иные риски, будут автоматически реализованы на этапах проектирования, ввода в эксплуатацию и содержания объектов недвижимости, создавая массовые и мощные источники техносферной опасности, возникновения экологического вреда и экономического ущерба.

Основная идея нового подхода заключается в следующем: посредством предупреждения, минимизации экологических угроз и опасностей на стадии зарождения опасных отходов (максимального использования сырья, материалов, ресурсосбережения, снижения уровня опасности, токсичности использованных веществ и предметов в источниках образования, извлечения, отдельного сбора полезных компонентов, изолированного от воздействия на компоненты природной среды временного накопления) можно добиться прекращения практики захоронения несортированных отходов.

В целях обоснованного выбора эффективных инструментов, средств изучения потенциальной экологической опасности процессов обращения с отходами и связанных с ними рисков проведен сравнительный анализ используемых в нашей стране и за рубежом научно-исследовательских методов в области технической, экологической, промышленной безопасности (табл. 1).

По результатам исследования метод «Предварительный анализ опасности» (Process Hazards and Analysis – PHA) предпочтен в качестве оптимального для решения задач прогнозирования экологических угроз и опасностей – потенциальных источников возникновения чрезвычайных ситуаций техносферного характера. Данный метод представляет возможности:

- прогнозирования на ранних стадиях инвестиционного процесса необходимых и достаточных действий и мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- анализа техносферных объектов в части оценки первостепенной опасности;
- предварительного анализа потенциальной опасности, а не наступившей;
- реализации как в отношении процессов и объектов, так и на всех стадиях циклического оборота продукции, ресурсов, сырья, отходов.

Поэтапная реализация системы применяемых методов консолидирована и гармонизирована с принятой в исследованиях такого рода последовательностью операций по системному анализу риска решений, организационно-технических мероприятий по снижению риска.

**Сравнительный анализ научно-исследовательских методов оценки опасности и техногенных рисков**

Наименование метода	Направления использования	Проблемы применения для оценки экоопасности
Метод проверочного листа (Check-list)	Изучение соответствия условий эксплуатации объекта требованиям безопасности методом проверочного листа	Оценивает безопасность уже эксплуатируемых объектов, не дает возможность предварительной оценки экоопасности
Анализ вида и последствий отказов (FMEA)	Совокупность приемов анализа аварийных состояний оборудования и их влияния на другие компоненты и систему в целом	Оценивает аварийность, безопасность оборудования, но не системы движения материальных потоков
Анализ «дерева событий» (ETA)	Алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации)	Используется для анализа развития аварийной ситуации и не применим для прогноза уровня опасности
Вероятностный анализ безопасности (PRA)	Системный анализ и оценка частоты и последствий реализации опасных событий (аварий)	Оценивает последствия опасных ситуаций, но не меры по их предупреждению и выявлению
Оценка риска минимальных путей от иницирующего до основного события (SCRA)	Оценка наименьшего набора исходных событий, при наличии которых способно возникнуть основное опасное событие	Оценивает сочетания вероятных опасных событий, но не превентивные меры по их недопущению
Детерминистический анализ безопасности – оценка безопасности (SA)	Расчетный анализ реакций систем на возможные события с целью определения последовательности событий и условий их прохождения с учетом повреждений систем или ошибок персонала, усугубляющих ситуацию	Оценивает возможные опасные события и параметры негативной ситуации со стороны системы «человек – оборудование», но не системы «человек – материальные средства (сырье, отходы)»
Анализ влияния человеческого фактора (HRA)	Совокупность способов оценки влияния людей на показатели работы системы, ошибок работающего – на надежность	Оценивает влияние ошибок персонала, не может применяться при оценке умышленных нарушений в области обращения отходов
Анализ ошибочных действий (АЕА)	Совокупность приемов анализа ошибочных действий персонала и из последствий для техники	Оценивает систему «человек – техника», но не системы «человек – сырье, ресурсы, отходы»
Концептуальный обзор безопасности (CSR)	Обобщенная оценка опасных ситуаций в производственных процессах	Сфера применения: безопасность действующих процессов, но не оценка способов ее достижения
Количественная оценка риска (QRA)	Количественная оценка риска от наступления опасных событий	Не предусматривает оценку безопасной деятельности
Функционально-стоимостного управления (АВМ)	Управление затратами на основе применения более точного отнесения затрат на процессы, функции, продукцию	Может быть применен в части оценки потенциального ущерба и затрат на его предотвращение
Анализ опасности и связанных с ней проблем (HAZOP)	Идентификация опасности, оценка каждой части системы с целью обнаружения отклонений и последствий от них, влияния в системе на возникновение опасности. Результатом является перечень критических операций для управления рисками	Может быть использован локально при оценке ущерба, вызванного экологической опасностью производственно-хозяйственных процессов, но не применим для оценки прогнозно-предупредительных мер
Предварительный анализ опасности (РНА)	Совокупность приемов идентификации опасности, используемых на ранних стадиях проектирования с целью идентификации опасностей и оценки их критичности	Потенциально применим при предварительной оценке экологической опасности

В рамках выбранной стратегии исследования на базе комбинирования вышеуказанных методов выделены и квалифицированы: источники, объекты, причины, стадии возникновения, влияющие факторы, события, качественные и количественные показатели предотвращенного экологического риска, взаимосвязь между исследуемыми параметрами и явлениями (табл. 2).

## Составляющие и параметры оценки предотвращенного экологического риска

Параметры оценки	Составляющие оценки и их характеристика
Взаимодействующие факторы формирования экологических угроз и рисков	а) применяемые, завершившие эксплуатацию, утраченные в виде неиспользуемых остатков, потери: сырье, материалы, изделия, конструкции, детали, потенциально обладающие опасными свойствами и состояниями; б) эксплуатируемые инженерные системы, технические средства, оборудование; в) реализуемые научно-производственные решения, технологии, управленческие и организационно-технические схемы; г) территории расположения объектов хозяйственной деятельности – источников экологического вреда и рисков (климатические, геофизические, гидрологические, геологические, иные местные условия и особенности); д) подвергающиеся негативному влиянию компоненты природной среды
Перечень экологических угроз и опасностей	Поступление опасных соединений в окружающую среду в процессе взаимодействия продукции, средств труда, человека и компонентов окружающей среды в процессе жизнедеятельности (выброс, сброс): а) выброс и сброс загрязняющих веществ в природную среду; б) поступление в окружающую среду твердых остатков, частей, потерь, продуктов переработки и потребления продукции
Процессы жизнеобеспечения, приводящие к появлению экологических рисков	а) обращение материалов и сырья: временное накопление, хранение, транспортирование, погрузка, разгрузка, расфасовка, перегрузка, подготовка, приготовление, перемещение, укладка, технологическая обработка, доработка; б) непосредственно технологические процессы жизнеобеспечения, в том числе ремонтно-строительного производства, демонтажа, содержания объектов; в) обращение с завершившей срок эксплуатации, бывшей в употреблении продукцией в ходе жизнедеятельности и жизнеобеспечения техносферных территорий: раздельный сбор, временное накопление, извлечение полезных компонентов, предварительная и промышленная обработка, транспортирование, повторное использование
Этапы прогноза и оценки угроз и рисков	а) предпроектный (схемы, бизнес-планы, технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта, ОВОС); б) проектирование (раздел «охрана окружающей среды» проекта и смежные с ним); в) ввод в эксплуатацию объекта; г) эксплуатация, содержание объекта; д) завершение эксплуатации объекта недвижимости

Процесс образования потенциальных экологических угроз в результате нарушений природоохранных и иных требований графически иллюстрирован в виде иерархического дерева (рис. 1).

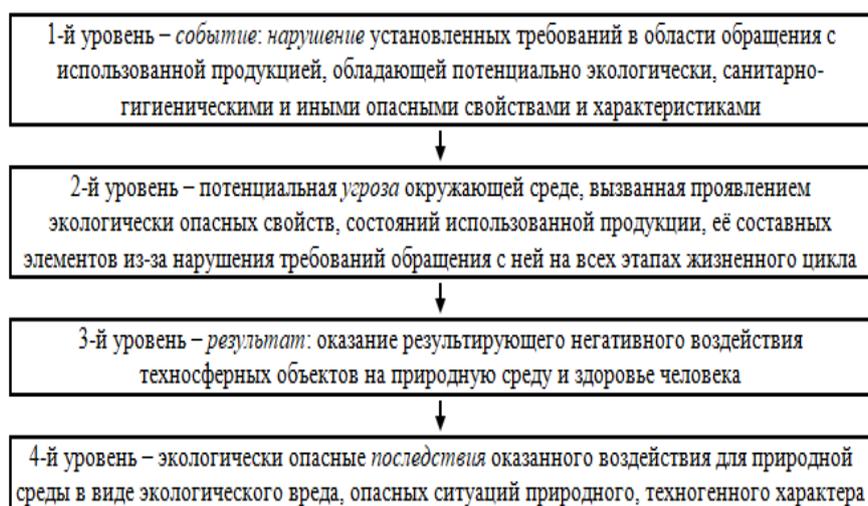


Рис. 1. Иерархическое дерево формирования экологической опасности в результате нарушения требований законодательства

С учетом выделенных этапов формирования экологической опасности выведена математическая зависимость вероятностной оценки возникновения экологического риска в источниках его зарождения – в результате несоблюдения природоохранных, ресурсосберегающих, технических и иных требований при реализации деятельности, создающей экологическую опасность (вероятность наступления общественно опасного события – нарушения требований экологического, санитарного, градостроительного, технического законодательства (действия или бездействия), совершенного с прямым либо косвенным умыслом (самонадеянности, небрежности, легкомыслию)  $P_{X1}$ :

$$P_{X1} = P_Y \vee P_Z \vee P_O,$$

где  $P_Y(p_{y1}, p_{y2}, \dots, p_{yN})$  – вероятность проявления при совершении этого правонарушения известных опасных свойств, состояний объекта техносферной опасности (использованных предметов, веществ и их составляющих элементов) с возникновением угрозы опасного воздействия на компоненты природной среды, токсичного на человека;  $P_Z(p_{z1}, p_{z2}, \dots, p_{zm})$  – вероятность реализации (оказания) опасного воздействия (физическое, механическое, химическое, биологическое, смешанное) на природную среду в результате данного правонарушения, способствовавшего проявлению опасных свойств и состояний техносферных объектов;  $P_O(p_{o1}, p_{o2}, \dots, p_{ok})$  – вероятность наступления в результате оказанного негативного воздействия экологически опасных последствий в виде отрицательных изменений в окружающей среде.

Тогда вероятностная оценка предотвращенного риска  $P_n$  определяется:

$$P_n = 1 - P_{X1},$$

где  $P_{X1}$  – вероятностной оценки возникновения экологического риска.

Порядковая иерархия многокритериальных альтернатив в процессе оценки экологического риска построена с применением аналитического метода «Последовательное Агрегирование Классифицируемых Состояний» (ПАКС). Исходное множество альтернатив описывается совокупностью вероятностей наступления событий – нарушений требований законодательства  $\{P_{X1}; P_Y; P_Z; P_O\}$ . Построенное иерархическое дерево (рис. 2) последовательно отражает процесс: «событие – угроза – результат – последствия».

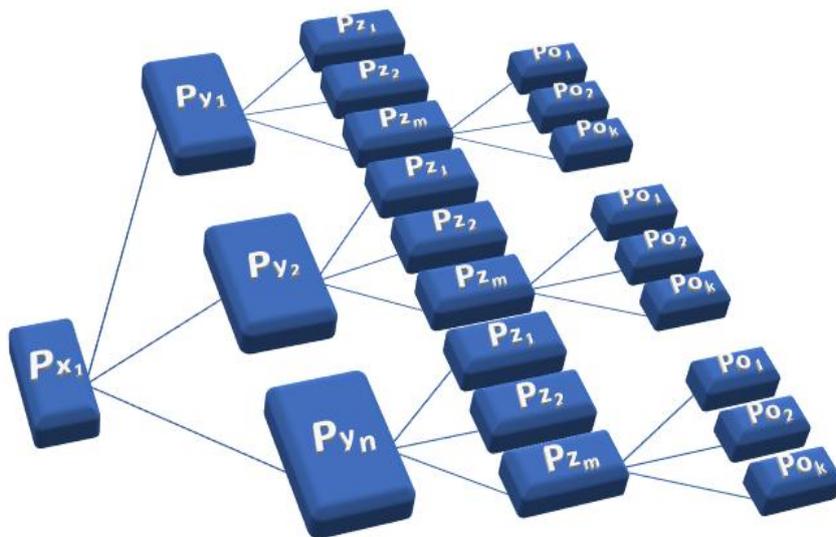


Рис. 2. Иерархия многокритериальных альтернатив в процессе поэтапного определения величины экологического риска

При оценке по предлагаемому методу вероятности наступления неблагоприятного для природы и человека события первостепенное значение имеет полноценная, четкая, обоснованная квалификация самого события, а также установление наличия и правовое обоснование причинно-следственной связи наступивших последствий с событием – совершенным правонарушением:

$$\left. \begin{array}{l} P_{X1} = P_{Y1} \vee P_{Y2} \vee \dots \vee P_{YN}, \\ P_{Y1} = P_{Z1} \vee P_{Z2} \vee \dots \vee P_{ZM}, \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ P_{Z1} = P_{O1} \vee P_{O2} \vee \dots \vee P_{OK}, \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \end{array} \right\} .$$

Сформирован состав природоохранных и ресурсосберегающих действий  $\{y_1 \dots y_N\}$ , способствующих предотвращению причин и условий формирования экологических угроз в источниках зарождения (примеры приведены в табл. 3).

Таблица 3

**Примеры состава событий, способствующих предотвращению причин и условий формирования экологического риска**

События, способствующие предотвращению причин и условий формирования экологического риска	Основание применения	Вид и объект воздействия	Опасные факторы
Обращение с отходами не приводит к нарушению нормативов качества окружающей среды: ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, водных объектах, почве; нормативов допустимого воздействия и допустимой нагрузки на окружающую среду	ФЗ от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»	Все виды и объекты	$Y_1 - Y_{13}$
Соблюдены требования по предупреждению аварий, разработаны планы мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера, связанных с обращением с отходами	ФЗ от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»	—/—	$Y_1 - Y_{13}$
При временном хранении отходов в нестационарных складах, на открытых площадках или в негерметичной таре соблюдаются условия: «расположение с подветренной стороны по отношению к жилой застройке; поверхности хранящихся насыпью отходов или открытых накопителей защищены от воздействия атмосферных осадков и ветров; поверхность площадки выполняется в виде искусственного водонепроницаемого и химически стойкого покрытия; по периметру площадки выполнена обваловка и обособленная сеть ливневых сточных вод с автономными очистными сооружениями; не допускается поступление загрязненного ливневого стока с площадки в общегородскую систему дождевой канализации без очистки»	СанПиН 2.1.7.1322–03	—/—	$Y_1 - Y_{13}$
Помещения, где происходит выделение пыли, имеют гладкую поверхность потолков, стен, полов, обеспечивая легкость очистки, не приводят к накоплению, поглощению вредных веществ, регулярно очищаются от пыли	СНиП 12-03–2001. «Безопасность труда в строительстве»	Химическое, механическое. Воздух	$Y_1 - Y_3$ $Y_7 - Y_{11}$
Хранение, захоронение и обезвреживание на территориях организаций и населенных пунктов загрязняющих атмосферный воздух отходов производства и потребления, дурнопахнущих веществ, сжигание таких отходов без специальных установок не производится	ФЗ от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»	Все виды. Воздух, почва, земли	$Y_1 - Y_{13}$
Помещения, где осуществляются работы с пылевидными материалами, отходами, рабочие места у машин дробления, размола и просеивания материалов обеспечиваются аспирационными или вентиляционными системами	СНиП 12-03–2001	Механическое. Воздух	$Y_1 - Y_4$ $Y_7 - Y_{11}$

При определении состава факторов экологической опасности проведен ретроспективный анализ правовых актов в области обращения отходов, определения классов их опасности, в которых установлены индикаторы, характеризующие различные факторы экологической опасности. Вместе с тем, как показало исследование широкого спектра видов реального воздействия отходов на природную среду, такой состав параметров полноценно не отражает исчерпывающий комплекс техносферных факторов, угроз и опасностей. Они обусловлены физико-химическими, иными свойствами завершившей срок эксплуатации, использованной продукции, не приведенной в безопасное состояние посредством прогноза, планирования и реализации соответствующих природоохранных и ресурсосберегающих организационно-технических схем, мероприятий и технологий. На основе проведенных исследований расширен и дополнен состав опасных факторов (множества  $Y_n$ ), способствующих ухудшению качества, благоприятности окружающей среды в результате негативного воздействия техносферных объектов (табл. 4).

Таблица 4

**Состав техносферных факторов, вызванных экологической опасностью отходов**

Установленные опасные свойства	Предлагаемый дополнительный состав экологически опасных факторов, не регламентированных в нормативно-технической документации
$Y_1$ – токсичность; $Y_2$ – реакционная способность; $Y_3$ – пожароопасность; $Y_4$ – взрывоопасность; $Y_5$ – содержание возбудителей инфекционных заболеваний; $Y_6$ – радиоактивность	$Y_7$ – способность к самодеструкции под воздействием внешних физических факторов с образованием новых опасных свойств, соединений, веществ; $Y_8$ – способность к выделению аэрозоля твердых частиц пыли в воздушную среду под воздействием природных и техногенных факторов (очистка, обработка, доработка, переработка продукции); $Y_9$ – способность к эмиссии газообразных загрязняющих веществ; $Y_{10}$ – адсорбирующая (поглощающая), абсорбирующая (впитывающая) способность компонентов отходов, приводящая к повышению уровня их экологической опасности и/или образованию новых опасных соединений; $Y_{11}$ – способность эффекта суммации – комбинированного воздействия различных соединений, выделяющихся с поверхности отходов или их составных частей, элементов между собой и с химическими компонентами окружающей среды с образованием опасных веществ; $Y_{12}$ – способность к выделению высоко-, чрезвычайно опасных (ядовитых, канцерогенных и иных) соединений при термическом воздействии; $Y_{13}$ – способность к выделению опасных соединений в водную среду, почвы, атмосферный воздух в процессе различных фаз разложения при размещении в природной среде (полигоны, свалки, хранилища отходов)

Расширенный состав экологически опасных факторов дает возможность более обоснованно планировать разработку мер и технологий по предупреждению экологического вреда и рисков.

К результирующим показателям оказанного физического, механического, химического, биологического, смешанного воздействий  $\{z_1; z_m\}$  отнесено изменение равновесного состояния, благоприятности окружающей среды, выраженное в ухудшении органолептических, санитарно-токсикологических, общесанитарных, токсикологических показателей качества природных ресурсов и объектов, оцениваемых с учетом фоновых значений параметров загрязнения, эффектов суммации, аддитивности воздействующих техносферных факторов.

Разработанные ранее количественные и качественные показатели оценки экологической опасности опубликованы в работах [21–23].

Вероятность наступления экологически опасных последствий  $P_o$  в виде отрицательных изменений качества окружающей среды и ее компонентов, повлекших за собой нанесение ущерба природным ресурсам и объектам, предлагается оценивать по формуле:

$$P_o = \sum_1^k P_k(z) V_k ,$$

где  $P_k(z)$  – вероятность поражения отдельного  $k$ -го природного объекта или природного ресурса в результате воздействия факторов опасности  $Y_1–Y_{13}$  в случае реализации (оказания, воплощения) опасного воздействия  $Z_1 … Z_m$  (физического, механического, химического, биологического, смешанного);  $V_k$  – количество/объем подвергшегося негативному воздействию (загрязнению, уничтожению, порче, деградации)  $k$ -го природного ресурса или объекта (т/м<sup>3</sup>).

### Выводы

Полученные научно-практические результаты позволили реализовать поставленные задачи исследования:

- идентификацию, классификацию источников техносферного воздействия (процессов, операций) на природную среду по уровню и видам опасности;
- квалификацию экоопасных ситуаций, вызванных техносферным воздействием;
- дать качественную оценку потенциальных экологических рисков и вреда;
- определение качественных и количественных, природоохранных и ресурсосберегающих критериев и показателей экологически безопасного обращения с техносферными объектами: выбросами, сбросами, отходами;
- ранжирование экологической опасности, возникающей при несоблюдении требований обращения с отходами;
- определение уровней экологической безопасности техносферных территорий;
- выработку комплекса необходимых корректирующих действий, реализующих защищенность территорий и населения от техносферного воздействия.

Разработанные научные подходы и предложения по оценке потенциальных экологических угроз и рисков могут быть реализованы на стадиях мониторинга источников экологической опасности, прогнозирования уровней техносферной опасности, вызванной обращением токсичных отходов.

### Список источников

1. Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 1. С. 6–11.
2. Графкина М.В., Потапов А.Д. Оценка экологической безопасности строительных систем как природно-техногенных комплексов (теоретические основы) // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 23–28.
3. Цховребов Э.С. Правовые аспекты обеспечения экологической безопасности // ЭКОС: Экологическая безопасность. Защита человека и среды его обитания. 2008. № 3. С. 13–19.
4. Обеспечение экологической безопасности при проектировании объектов недвижимости и проведении строительных работ: монография / Э.С. Цховребов [и др.]. СПб.: РГГУ, 2013. 360 с.
5. Цховребов Э.С., Лебин А.Н., Белоусов В.Г. Новейшая история развития природоохранной деятельности в России // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. 2012. Т. 18. № 2. С. 192–196.
6. Мягков С.М. География природного риска. М.: Издательство МГУ, 1995. 224 с.
7. Акимов В.А., Лесных В.В., Рязев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.

8. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. М.: Издательство МГУ, 2004. 124 с.
9. Музгалеvский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2011. 448 с.
10. Башкин В.Н. Экологические риски. Расчет, управление, страхование. М.: Высшая школа, 2007. 352 с.
11. Robin Murray. Zero waste // Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 p.
12. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment / J. Hart [et al.] // Procedia CIRP. 2019. № 80. P. 619–624.
13. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum development using zero waste concepts: construction waste case study // Procedia engineering. Vol. 145. 2016. P. 1306–1313.
14. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, conservation & recycling. 2017. № 127. P. 9.
15. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition towards a resource efficient circular economy in Europe: policy lessons from the EU and the member states // Ecological economics. 2019. Vol. 155. P. 7–19.
16. Концепция биосферной совместимости как основа доктрины градостроительства и расселения / В.А. Ильичев [и др.] // Стратегические приоритеты. 2014. № 1. С. 71–84.
17. Оценка экологической безопасности строительства на основе модели полного ресурсного цикла / В.А. Ильичев [и др.] // Научный вестник Воронежского ГАСУ. 2016. № 4 (44). С. 169–176.
18. Azarov V.N., Manzhilevskaya S.E., Petrenko L.K. Organizational and economic problems of ecological safety in construction // Construction and architecture: theory and practice of innovative development: materials science and engineering: international scientific conference. 2019. 698 (5): 055007.
19. 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.
20. Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future: a report of the int. resource panel / E. Hertwich [et al.] // United Nations Environment Programme. 2020.
21. Цховребов Э.С. Научное обоснование методов оценки и системы требований обеспечения экологической безопасности в строительстве и коммунальном хозяйстве в отношении воздействия отходов // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2020. № 2 (30). С. 60–81.

## References

1. Suzdaleva A.L. Ekologicheskaya globalistika i ustojchivoe razvitie na etape tekhnogennoj transformacii biosfery // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2020. № 1. S. 6–11.
2. Grafkina M.V., Potapov A.D. Ocenka ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'nyh sistem kak prirodno-tekhnogennyh kompleksov (teoreticheskie osnovy) // Vestnik MGSU. 2008. № 1. S. 23–28.
3. Ckhovrebov E.S. Pravovye aspekty obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti // EKOS: Ekologicheskaya bezopasnost'. Zashchita cheloveka i sredy ego obitaniya. 2008. № 3. S. 13–19.
4. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti pri proektirovanii ob"ektov nedvizhimosti i provedenii stroitel'nyh rabot: monografiya / E.S. Ckhovrebov [i dr.]. SPb.: RGGU, 2013. 360 s.
5. Ckhovrebov E.S., Lebin A.N., Belousov V.G. Novejshaya istoriya razvitiya prirodnoohrannoj deyatel'nosti v Rossii // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova. 2012. T. 18. № 2. S. 192–196.
6. Myagkov S.M. Geografiya prirodnoho riska. M.: Izdatel'stvo MGU, 1995. 224 s.
7. Akimov V.A., Lesnyh V.V., Ryzaev N.N. Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoj i tekhnogennoj sferah. M.: Delovoj ekspress, 2004. 352 s.

8. Shvyryaev A.A., Men'shikov V.V. Ocenka riska vozdejstviya zagryazneniya atmosfery v issleduemom regione. M.: Izdatel'stvo MGU, 2004. 124 s.
9. Muzgalevskij A.A., Karlin L.N. Ekologicheskie riski: teoriya i praktika. SPb.: Izd-vo RGGMU, 2011. 448 s.
10. Bashkin V.N. Ekologicheskie riski. Raschet, upravlenie, strahovanie. M.: Vysshaya shkola, 2007. 352 s.
11. Robin Murray. Zero waste // Greenpeace Environmental Trust. 2002. 211 s.
12. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment / J. Hart [et al.] // Procedia CIRP. 2019. № 80. P. 619–624.
13. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum development using zero waste concepts: construction waste case study // Procedia engineering. Vol. 145. 2016. P. 1306–1313.
14. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions // Resources, conservation & recycling. 2017. № 127. P. 9.
15. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition towards a resource efficient circular economy in Europe: policy lessons from the EU and the member states // Ecological economics. 2019. Vol. 155. P. 7–19.
16. Koncepciya biosfernoj sovместimosti kak osnova doktriny gradoustrojstva i rasseleniya / V.A. Il'ichev [i dr.] // Strategicheskie priority. 2014. № 1. S. 71–84.
17. Ocenka ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'stva na osnove modeli polnogo resursnogo cikla / V.A. Il'ichev [i dr.] // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. 2016. № 4 (44). S. 169–176.
18. Azarov V.N., Manzhilevskaya S.E., Petrenko L.K. Organizational and economic problems of ecological safety in construction // Construction and architecture: theory and practice of innovative development: materials science and engineering: international scientific conference. 2019. 698 (5): 055007.
19. 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.
20. Resource efficiency and climate change: material efficiency strategies for a low-carbon future: a report of the int. resource panel / E. Hertwich [et al.] // United Nations Environment Programme. 2020.
21. Ckhovrebov E.S. Nauchnoe obosnovanie metodov ocenki i sistemy trebovanij obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti v stroitel'stve i kommunal'nom hozyajstve v otnoshenii vozdejstviya othodov // Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii. 2020. № 2 (30). S. 60–81.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 27.01.2023; одобрена после рецензирования: 07.02.2023;  
принята к публикации: 08.02.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 27.01.2023; approved after review: 07.02.2023;  
accepted for publication: 08.02.2023

*Информация об авторах:*

**Цховребов Эдуард Станиславович**, старший научный сотрудник Федерального центра науки и высоких технологий Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7), кандидат экономических наук, доцент, e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

**Гордиенко Алексей Николаевич**, соискатель; заместитель начальника Научного центра «Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций» Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7), e-mail: angordienko@mail.ru

*Information about the authors:*

**Tshovrebov Eduard S.**, senior researcher at the Federal center for science and high technologies of All-Russian research institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia (121352, Moscow, Davydkovskaya str., 7), candidate of economic sciences, associate professor, e-mail: rebrovstanislav@rambler.ru

**Gordienko Alexey N.**, applicant; deputy head of the Scientific center «Monitoring and forecasting of emergency situations» of All-Russian research institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia (121352, Moscow, Davydkovskaya str., 7), e-mail: angordienko@mail.ru

Научная статья

УДК 656.62

## **МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ЛОДОЧНЫХ МОТОРОВ**

**Ложкина Ольга Владимировна;**

✉ **Мальчиков Константин Борисович.**

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

✉ *malchikov87@mail.ru*

*Аннотация.* На сегодняшний день методы прогнозирования техногенных опасностей по показателям негативного влияния загрязняющих веществ, образующихся при эксплуатации различных видов транспорта, основываются на достоверных входных (базовых или исходных) параметрах или коэффициентах выбросов. В классе маломерных судов, количество которых постоянно увеличивается, наиболее распространено использование 2-тактных подвесных лодочных моторов. Цель данного исследования заключалась в определении содержания поллютантов в отработавших газах вышеуказанных силовых судовых установок. Испытания проводились в условиях стационарных (швартовых) испытаний на открытых водоемах с помощью газоанализатора марки «Инфраклар 5МЗТ.02Л» в соответствии с действующими требованиями нормативных правовых актов и руководства по эксплуатации газоанализатора. В результате проведенного исследования получены новые данные по выбросам 2-тактных подвесных лодочных моторов таких загрязняющих веществ, как диоксид углерода CO<sub>2</sub> и оксиды азота NO<sub>x</sub>, а также уточнены данные по выбросам монооксида углерода CO и углеводородов.

*Ключевые слова:* маломерные суда, двухтактные подвесные лодочные моторы, вредные выбросы, прогнозирование техногенных опасностей

**Для цитирования:** Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Метод прогнозирования техногенных опасностей на основе определения содержания поллютантов в отработавших газах лодочных моторов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 127–137.

Scientific article

## **METHOD FOR PREDICTING ANTHROPOGENIC HAZARDS BASED ON DETERMINATION OF POLLUTANTS CONTENT IN EXHAUSTS OF BOAT MOTORS**

**Lozhkina Olga V.;**

✉ **Malchikov Konstantin B.**

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

✉ *malchikov87@mail.ru*

*Abstract.* Methods for predicting anthropogenic hazards in terms of the estimation of negative impact of pollutants generated by various modes of transport are based on reliable input parameters or emission factors. 2-stroke outboard motors are widely used in the class of small boats, which amount is constantly growing. The purpose of this study was to determine the content of pollutants in the exhaust of 2-stroke outboard motors. There were carried out stationary (mooring) tests on open water using an Infracar 5M3T.02L gas analyzer in accordance with

the current requirements of regulatory legal acts and the gas analyzer operation manual. There were obtained and clarified data on emissions of carbon dioxide CO<sub>2</sub>, nitrogen oxides NO<sub>x</sub>, carbon monoxide CO and hydrocarbons of 2-stroke outboard motors.

*Keywords:* small boats, 2-stroke outboard motors, harmful emissions, forecasting of anthropogenic hazards

**For citation:** Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Method for predicting anthropogenic hazards based on determination of pollutants content in exhausts of boat motors // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 127–137.

## Введение

Обеспечение техносферной безопасности человека в городской среде, в том числе развитие методов и технологий минимизации негативного воздействия транспорта, как одного из ключевого элемента городской техносферы, является актуальной задачей [1–3].

На сегодняшний день в Российской Федерации достаточно активно развивается система водной рекреации, а рынок техники для активного отдыха в перспективе ожидает значительный рост. Например, рынок подвесных лодочных моторов (ПЛМ), вследствие относительной дешевизны вышеуказанной техники, по прогнозам к 2023 г. достигнет уровня в 164,4 тыс. ед. ежегодно реализуемых моторов [4]. Следует сказать, что производство собственных ПЛМ в Российской Федерации пока прекращено, поэтому эксплуатируются в основном моторы зарубежных производителей.

Особенную популярность на данный момент времени приобрели ПЛМ китайского производства, в основном 2-тактной конструкции и относительно малой мощности. Дело в том, что, в соответствии с действующим законодательством, государственной регистрации не подлежат маломерные суда в случае, если они, в том числе, не используются в коммерческих целях или оснащены двигателем мощностью до 8 кВт или 10,88 л.с. включительно [5].

Объективная оценка валовых и локальных выбросов загрязняющих атмосферу веществ, образующихся при эксплуатации силовых установок маломерных судов, основывается на использовании в методиках расчета таких выбросов достоверных входных (исходных) параметров, которые базируются на результатах прямых инструментальных измерений [6].

Цель исследования – дополнение и уточнение существующих баз данных выбросов монооксида углерода СО и углеводородов и получение данных по выбросам диоксида углерода СО<sub>2</sub> и оксидов азота NO<sub>x</sub> 2-тактными ПЛМ. Эти данные необходимы для научного обоснования значений факторов эмиссии вышеуказанных поллютантов с целью разработки и совершенствования расчетных методов контроля опасного техносферного воздействия судовых двигательных установок на атмосферу.

## Методы исследования

Методика проведения исследования включала стационарные или швартовые натурные испытания по замеру содержания токсичных примесей в отработавших газах (ОГ) 2-тактных ПЛМ на водоемах в реальных условиях эксплуатации с помощью газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л». Используемые в эксперименте ПЛМ при этом имели различные характеристики (мощность, год выпуска и степень эксплуатационной изношенности). Принцип выбора указанных силовых установок основывался на таких критериях, как относительная доступность их приобретения, простота эксплуатации и обслуживания, относительно невысокая мощность (до 6 л.с. включительно); возможность хранения в небольших помещениях, возможность отбора пробы при погруженной в воду нижней части дейдвуда лодочного мотора.

В качестве измерительного прибора для замера уровня выбросов двухтактных бензиновых ПЛМ был использован отечественный газоанализатор марки «Инфракар 5МЗТ.02Л». Класс точности – 0; заводской номер К119; поверка пройдена 14.01.2020 ЛОЕИ ООО «ПРОММАШ ТЕСТ» согласно методике МП-130/11-2019 (рис. 1, 2).

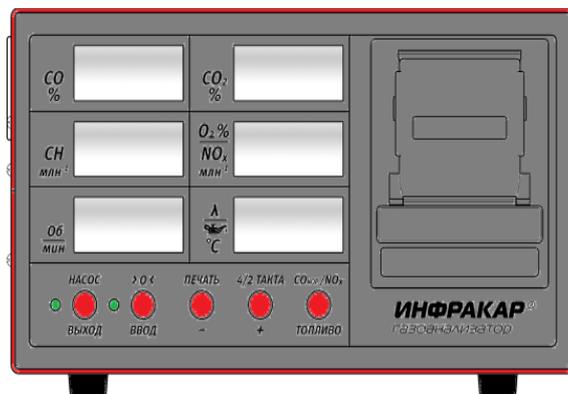


Рис. 1. Вид спереди измерительного блока газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л»

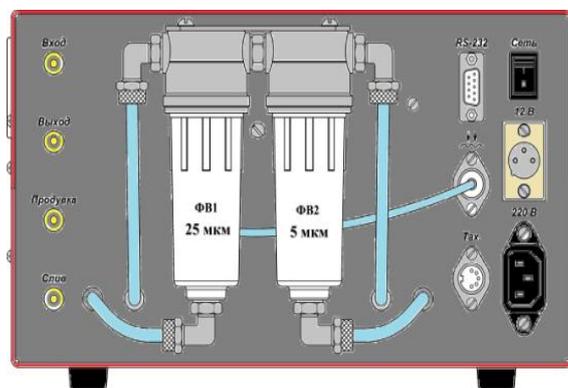


Рис. 2. Вид сзади измерительного блока газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л» с фильтрующими элементами 25 мкм и 5 мкм

Главной отличительной особенностью газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л» является наличие системы защиты от попадания воды в измерительную часть (кювету), а также специальная система пробоподготовки – фильтры очистки от механических примесей, совмещенные с влагоотделителем (фильтрующие элементы 5 и 25 мкм). Необходимость применения в конструкции газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л» особой влагоотделительной системы пробоотбора и автоматической системы защиты от залива водой измерительной части прибора обусловлено следующей причиной: в целях охлаждения ОГ ПЛМ и снижения его уровня шума в конструкции таких моторов применяется система «мокрого выхлопа», когда в поток отработавших газов вводится вода из системы охлаждения двигателя. Без системы защиты и пробоподготовки существует риск попадания воды в измерительную часть газоанализатора и последующего выведения его из строя [7].

В оптическом измерительном блоке газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л» имеются датчики измерения концентраций поллютантов, принцип действия которых:

а) оптико-абсорбционный – датчики монооксида углерода CO, диоксида углерода CO<sub>2</sub>, углеводородов;

б) электрохимический – датчики кислорода O<sub>2</sub>, оксидов азота NO<sub>x</sub>;

в) индуктивный метод определения частоты импульсов тока в системе зажигания – частота вращения коленчатого вала.

В табл. 1 указаны рабочие диапазоны измерения прибора и погрешность.

Таблица 1

**Диапазоны измерения и погрешности измерения газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л»**

Измеряемый компонент	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности	
		Абсолютной	Относительной, %
СО	0–1 %	± 0,03 %	–
	свыше 1–5 %	–	± 3
СН в пересчете на гексан (С <sub>6</sub> Н <sub>14</sub> )	0–200 млн <sup>-1</sup>	± 10 млн <sup>-1</sup>	–
	свыше 200–2 000 млн <sup>-1</sup>	–	± 5
СО <sub>2</sub>	0–12,5 %	± 0,5 %	–
	свыше 12,5–16,0 %	–	± 4
О <sub>2</sub>	0–3,3 %	± 0,1 %	–
	свыше 3,3–21,0 %	–	± 3
NO <sub>x</sub>	0–1 000 млн <sup>-1</sup>	± 50 млн <sup>-1</sup>	–
	свыше 1 000–5 000 млн <sup>-1</sup>	–	± 5
Частота вращения коленчатого вала	0–1 200 об/мин	± 30 об/мин	–
	свыше 1 200–9 000 об/мин	–	± 2,5

**Результаты исследования и их обсуждение**

2-тактные ПЛМ с карбюраторной системой подачи топливно-воздушной смеси на сегодняшний день являются наиболее популярными силовыми судовыми установками, используемыми в целях водной рекреации на различных маломерных судах (катерах, катамаранах, тримаранах, надувных лодках). Такие силовые установки отличаются простотой конструкции и, как следствие, их относительная условная доступность и неприхотливость в обслуживании, а также большая мощность при одинаковом рабочем объеме в сравнении с 4-тактной конструкцией. Тем не менее эксплуатация 2-тактных ПЛМ связана с некоторыми негативными аспектами, сказывающимися на уровне эмиссии загрязнителей. Во-первых, 2-тактные двигатели устроены таким образом, что при их эксплуатации происходит частичная потеря готовой топливно-воздушной смеси и некоторое разбавление ее ОГ во время цикла сжатия и рабочего хода поршня (момент одновременного открытия выпускного окна и впускного клапана) [8]. Во-вторых, большинство 2-тактных двигателей не имеет в своей конструкции картера, что обуславливает необходимость непосредственного добавления смазочного моторного масла в топливо [9].

Выбор в качестве объекта исследования выбросов силовыми двигательными установками маломерных судов различных 2-тактных ПЛМ зарубежного производства с относительно низкой мощностью объясняется их достаточной распространенностью в сфере рекреации на внутренних водных объектах Российской Федерации. Вдобавок ПЛМ с номинальной (максимальной) мощностью 5–6 л.с. (3,68–4,41 кВт соответственно) в большинстве своем имеют систему отвода ОГ через отдельное отверстие, вследствие чего забор пробы газоанализатором «Инфракар 5МЗТ.02Л» возможен посредством применения газозаборного зонда А. Измерение уровня выбросов с помощью газозаборного зонда Б возможно только через выходное отверстие в верхней части дейдвуда, через которое выходят ОГ на режимах холостого хода, что исключает возможность отбора пробы на других режимах испытательного цикла Е4 (рис. 3).

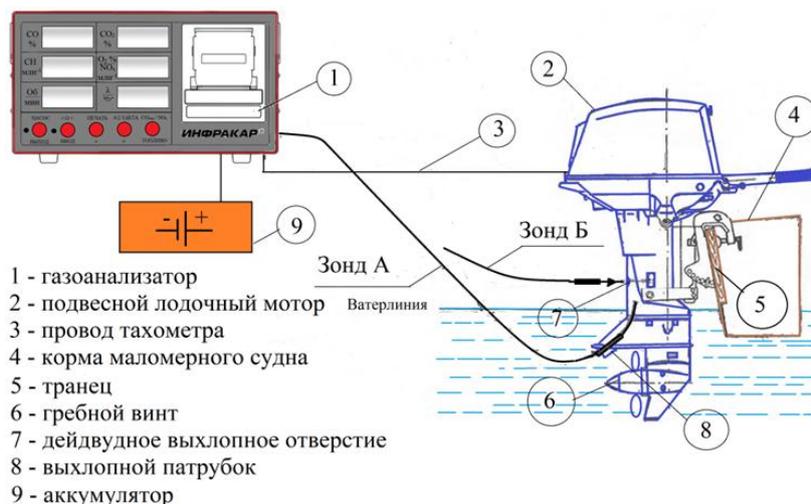


Рис. 3. Схема измерения с использованием газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л» количественных показателей состава отработавших газов ПЛМ без системы отвода ОГ через гребной винт

ПЛМ с номинальной (максимальной) мощностью более 5–6 л.с. в основном имеют систему отвода ОГ через гребной винт, что осложняет проведение замеров даже при демонтаже гребного винта, так как зачастую отсутствует возможность размещения газозаборного зонда А в меньшее по размерам выходное отверстие крышки редуктора таких лодочных моторов. Проведение испытаний с использованием специальных промывочных устройств без погружения в воду дейдвуда несет риск перегрева лодочного мотора.

В табл. 2 представлены основные характеристики используемых при проведении экспериментальных измерений количественных показателей состава ОГ ПЛМ.

Таблица 2

#### Основные характеристики испытанных 2-тактных ПЛМ

Двигатель	Год вып.	Ном. мощн., л.с. (кВт)	Ном. частота вращения, об/мин	Кол-во цил.	Раб. объем цил., см <sup>3</sup>	Степ. сжатия
Yamaha 4 ACMN	2005	4 (2,94)	4 500–5 500	1	83	7
SHARMAX SM6HS	2021	6 (4,41)	4 500–5 500	1	102	6,8
MARINER 5	1999	5 (3,68)	4 500–5 500	1	102	6,5
Mikatsu M4FHS	2020	4 (2,94)	4 200–5 300	1	82,1	6,5

Методика проведения испытания соответствовала установленным требованиям нормативной технической документации, а именно: ГОСТу 28556–2016 «Межгосударственный стандарт. Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности»; ГОСТу ISO 8178-1–2013 «Межгосударственный стандарт. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 1. Измерение выбросов газов и частиц на испытательных стендах»; ГОСТу ISO 8178-2–2013 «Межгосударственный стандарт. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 2. Измерение выбросов газов и частиц в условиях эксплуатации»; ГОСТу ISO 8178-4–2013 «Межгосударственный стандарт. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах»; ГОСТу Р ИСО 8178-5–2017 «Национальный стандарт Российской Федерации. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 5. Топливо для испытаний». Кроме того, методика проведения испытания соответствовала руководству по эксплуатации газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л» [10].

При проведении испытаний по замеру содержания загрязнителей в ОГ 2-тактных бензиновых ПЛМ был выбран установленный действующими требованиями испытательный цикл Е4 (табл. 3). Соотношение топливо-масло при проведении испытаний составляло, согласно рекомендациям по эксплуатации испытываемых 2-тактных ПЛМ, 50:1.

Таблица 3

**Испытательные режимы цикла Е4**

Номер режима	1	2	3	4	5
Частота вращения, % (от номинальной частоты вращения коленчатого вала*)	100	80	60	40	Холостой ход

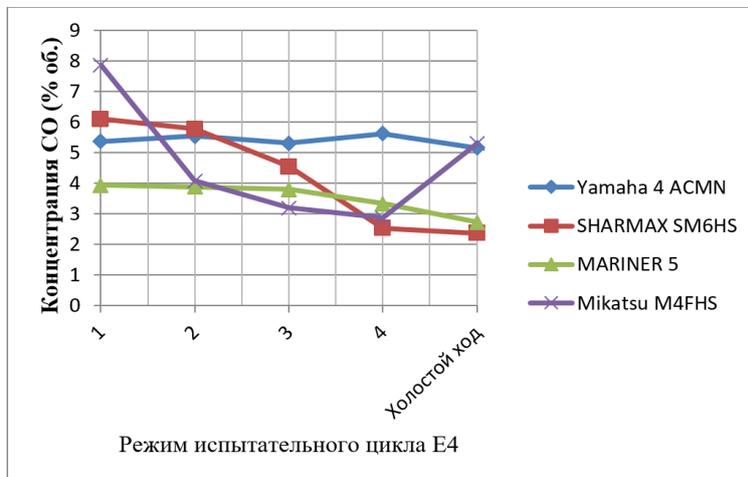
*Примечание:* \*Объявленная (номинальная) частота вращения – частота вращения, при которой, согласно заявлению изготовителя двигателя, достигается объявленная (номинальная или полная мощность) (оборотов/мин)

Исследования проводились в летний и осенний период 2022 г. на различных внутренних водных объектах Ленинградской обл. и Республики Карелия (рис. 4).



**Рис. 4. Проведение стационарных (швартовых) испытаний на водоеме, расположенном в Гатчинском р-не Ленинградской обл.**

Результаты стационарных (швартовых) испытаний по замеру концентраций загрязнителей в ОГ 2-тактных ПЛМ номинальной мощностью до 6 л.с. (4,41 кВт) отражены на диаграммах (рис. 5–8) и в табл. 4.



**Рис. 5. Концентрация монооксида углерода CO, % об., в ОГ 2-тактных ПЛМ**

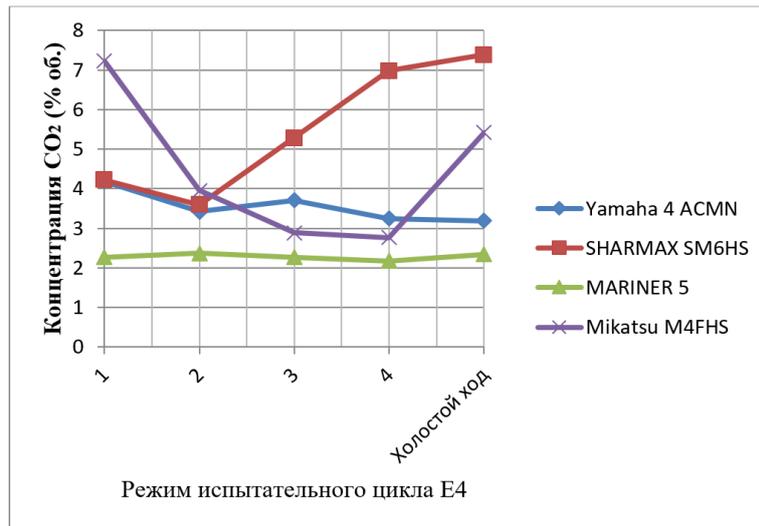


Рис. 6. Концентрация монооксида углерода CO<sub>2</sub>, % об., в ОГ 2-тактных ПЛМ

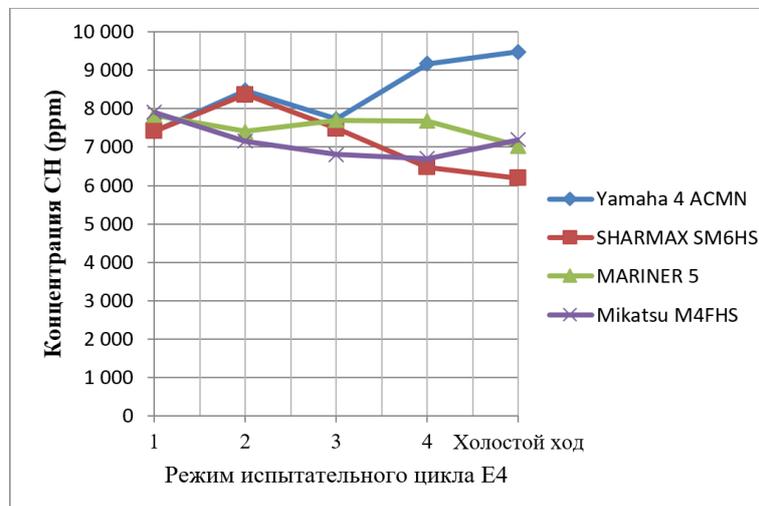


Рис. 7. Концентрация углеводородов (CH), ppm или млн<sup>-1</sup>, в ОГ 2-тактных ПЛМ

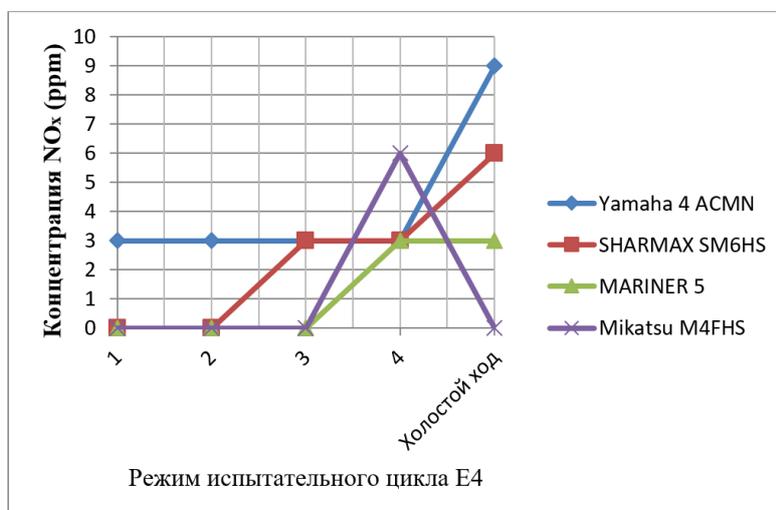


Рис. 8. Концентрация оксидов азота NO<sub>x</sub>, ppm или млн<sup>-1</sup>, в ОГ 2-х тактных ПЛМ

**Содержание монооксида углерода CO, диоксида углерода CO<sub>2</sub>,  
углеводородов CH и оксидов азота NO<sub>x</sub> в ОГ 2-тактных ПЛМ**

Yamaha 4 ACMN								
Номер режима испыт. цикла E4	Част. вращ. ном., об/мин	Частота вращ. фактич., об/мин	Поллютант					
			CO, % (об.)	CO <sub>2</sub> , % (об.)	HC, ppm	NO <sub>x</sub> , ppm	O <sub>2</sub> , % (об.)	λ*
1	5 000	5 140	5,369	4,185	7 407	3	9,699	0,979
2	4 000	4 430	5,547	3,419	8 478	3	10,77	0,976
3	3 000	3 340	5,310	3,707	7 726	3	10,81	1,022
4	2 000	2 090	5,628	3,243	9 168	3	11,13	0,961
Холостой ход	–	1 320	5,166	3,189	9 481	9	11,46	0,982
SHARMAX SM6HS								
1	5 000	5 070	6,106	4,222	7 421	–	8,841	0,912
2	4 000	4 180	5,778	3,597	8 373	–	10,12	0,944
3	3 000	3 270	4,547	5,282	7 481	3	8,715	0,961
4	2 000	1 990	2,530	6,980	6 478	3	8,418	1,064
Холостой ход	–	1 370	2,374	7,380	6 190	6	8,113	1,067
MARINER 5								
1	5 000	5 330	3,938	2,266	7 830	–	8,938	0,961
2	4 000	4 010	3,886	2,371	7 411	–	9,594	1,030
3	3 000	3 160	3,806	2,269	7 703	–	9,371	1,002
4	2 000	1 820	3,340	2,172	7 680	3	9,903	1,066
Холостой ход	–	1 180	2,728	2,348	7 030	3	9,956	1,154
Mikatsu M4FHS								
1	5 000	4 940	7,876	7,228	7 909	–	9,388	0,900
2	4 000	3 990	4,083	3,958	7 151	–	8,901	0,998
3	3 000	3 051	3,197	2,890	6 803	–	8,654	1,042
4	2 000	2 023	2,874	2,767	6 703	6	8,807	1,079
Холостой ход	–	1 287	5,306	5,416	7 194	–	8,774	0,951

*Примечание:* \*λ – коэффициент избытка воздуха (используется для контроля за процессом сжигания (сгорания) топлива)

Результаты проведенных испытаний показали, что содержание монооксида углерода CO в ОГ 2-тактных ПЛМ на различных режимах испытательного цикла E4 изменяется в диапазоне от 2,374 до 7,876 % (об.); диоксида углерода CO<sub>2</sub> – от 2,172 до 7,228 % (об.); углеводородов – от 6 190 до 9 481 млн<sup>-1</sup> (ppm); оксидов азота NO<sub>x</sub> – от 3 до 9 млн<sup>-1</sup> (ppm). Можно сказать, что общей особенностью ПЛМ является наименьший уровень выбросов основных атмосферных загрязнителей на умеренных режимах работы (испытательный режим 3 цикла E4).

### Заключение

Сравнительный анализ полученных нами экспериментальных данных о содержании монооксида углерода и углеводородов в ОГ ПЛМ зарубежного производства с результатами исследования по аналогичным показателям 2-тактных ПЛМ «Ветерок-8М», полученными сотрудниками Астраханского государственного технического университета М.Н. Покусаевым и А.А. Хмельницкой [11], указывает на достаточно хорошую сходимость результатов измерений.

Полученные данные о концентрациях диоксида углерода  $\text{CO}_2$  и оксидов азота  $\text{NO}_x$  в ОГ сравнительно маломощных (до 6 л.с.) 2-тактных бензиновых ПЛМ, наряду с вышеупомянутыми показателями, могут быть использованы для обоснования усредненных удельных выбросов (факторов эмиссии) поллютантов, необходимых для расчета валовых и локальных выбросов и уровня загрязнения воздуха в зонах совместной эксплуатации автотранспортных средств и маломерных судов.

Относительно низкий уровень выбросов оксидов азота  $\text{NO}_x$ , образующихся при эксплуатации 2-тактных ПЛМ, это, несомненно, положительная характеристика моторов данного типа. Причина может заключаться в относительно низкой температуре процесса пламенного окисления топливной смеси, недостаточной для образования оксидов азота по термическому механизму [12–15]. Если рассматривать конструктивные особенности 2-тактных ПЛМ, то косвенным подтверждением нашего предположения являются: более низкая степень сжатия по сравнению с 4-тактными лодочными моторами и в особенности с автомобилями [16, 17]; относительно малый рабочий объем цилиндра, вследствие чего достигается лучший теплоотвод и гетерогенный обрыв цепных реакций [18]; более высокий теплоотвод вследствие хороших охлаждающих свойств воды, используемой в системе охлаждения лодочного мотора [19]; некоторое вынужденное разбавление свежей топливно-воздушной смеси ОГ, пониженное количество эффективных соударений между молекулами горючего и окислителя [20]; неравномерность полей концентрации горючего компонента вследствие наличия технологических «карманов» в камере сгорания двигателя [9].

#### Список источников

1. Ложкин В.Н. Организация информационного процесса локального контроля поллютантов автотранспорта с элементами цифровизации // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 3. С. 74–80.
2. Ложкин В.Н. Исследование информационных аспектов обеспечения функционирования системы контроля безопасности объектов энергетики и транспорта // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 3. С. 47–52.
3. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Анализ структуры флота однопалубных прогулочных теплоходов Санкт-Петербурга в контексте контроля опасного воздействия на окружающую среду // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 123–134.
4. Лукашевич М.Л. Состояние и перспективы развития российского рынка техники для активного отдыха // Россия и Санкт-Петербург: экономика и образование в XXI веке: материалы XXXIX науч. конф. проф.-препод. состава. СПб., 2018. С. 97–100.
5. Статьи 16 и 17 Кодекса внутреннего водного транспорта Российской Федерации (Федер. закон от 7 марта 2001 г. № 24-ФЗ). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Современное состояние расчетного мониторинга и прогнозирования опасного воздействия выбросов маломерных судов на окружающую среду // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 3 (59). С. 46–53.
7. Жуков В.А., Шербан С.А. Измерительные приборы для определения состава отработавших газов судовых двигателей внутреннего сгорания // Вестник АГТУ. 2020. № 2. С. 100–108.
8. Хорхордин Е.Г. Подвесные лодочные моторы зарубежного производства: справ. М.: Издательский Дом Рученькиных, 2004. С. 15, 55, 79–82.
9. Сафонов А.С., Ушаков А.И., Орешенков А.В. Качество автомобильных топлив. Эксплуатационные свойства. Требования к качеству. Методы испытаний. НИПКЦ, 2006. С. 60, 79, 80.
10. Газоанализаторы «ИНФРАКАР». Руководство по эксплуатации, совмещенное с паспортом. ВЕРА. 413311 РЭ. М.: ООО «Альфа-динамика». 30 с.
11. Покусаев М.Н., Букин В.Г., Хмельницкая А.А. Экспериментальное исследование вредных выбросов подвесного лодочного мотора «Ветерок-8М» в малом опытовом бассейне // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4 (42). Т. 4. С. 105–109.

12. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / пер. с англ. Г.Л. Агафонова; под ред. П.А. Власова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 352 с.
13. Волкова Л.Ю., Дорош К.С. Анализ образования оксидов азота в двухтопливном двухтактном двигателе // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 153–162.
14. Салмин В.В., Суменков С.В., Дустмуратов Н.А. Совершенствование расчета рабочих процессов двухтактных ДВС // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2018. С. 82–86.
15. Живлюк Г.Е., Петров А.П. Техническое обеспечение для соответствия судовых энергетических установок новым требованиям 2021 г. по выбросам оксидов азота // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2020. Т. 12. № 1. С. 122–138.
16. Еникеев Р.Д., Домбровский О.П., Гарипов И.Д. Экспериментальные характеристики двухтактного бензинового двигателя с высокой степенью сжатия // Двигателестроение. 2012. № 3 (249). С. 7–11.
17. Состояние проблемы и методы снижения вредных выбросов судовых энергетических установок / Т.А. Макаревич [и др.] // Эксплуатация морского транспорта. 2022. № 2. С. 127–134.
18. Гуреев А.А. Применение автомобильных бензинов. Ленинград: Химия, 1972. С. 71.
19. Безюков О.К., Макарьев Е.В., Махфуд Маад Мохаммед. Исследование теплового баланса судового высокооборотного дизеля при его охлаждении водой и антифризом // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 2 (36). С. 90–97.
20. Корольченко А.Я. Процессы горения и взрыва. М.: Пожнаука, 2007. С. 154–163.

## References

1. Lozhkin V.N. Organizaciya informacionnogo processa lokal'nogo kontrolya pollyutantov avtotransporta s elementami cifrovizacii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 3. S. 74–80.
2. Lozhkin V.N. Issledovanie informacionnyh aspektov obespecheniya funkcionirovaniya sistemy kontrolya bezopasnosti ob"ektov energetiki i transporta // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 3. S. 47–52.
3. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Analiz struktury flota odnopalubnyh progulochnyh teplohodov Sankt-Peterburga v kontekste kontrolya opasnogo vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). S. 123–134.
4. Lukashevich M.L. Sostoyanie i perspektivy razvitiya rossijskogo rynka tekhniki dlya aktivnogo otдыхa // Rossiya i Sankt-Peterburg: ekonomika i obrazovanie v XXI veke: materialy XXXIX nauch. konf. prof.-prepod. sostava. SPb., 2018. S. 97–100.
5. Stat'i 16 i 17 Kodeksa vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii (Feder. zakon ot 7 marta 2001 g. № 24-FZ). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
6. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Sovremennoe sostoyanie raschetnogo monitoring i prognozirovaniya opasnogo vozdejstviya vybrosov malomernyh sudov na okruzhayushchuyu sredu // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 3 (59). S. 46–53.
7. Zhukov V.A., Sherban S.A. Izmeritel'nye pribory dlya opredeleniya sostava otrabotavshih gazov sudovyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya // Vestnik AGTU. 2020. № 2. S. 100–108.
8. Horhordin E.G. Podvesnye lodochnye motory zarubezhnogo proizvodstva: sprav. M.: Izdatel'skij Dom Ruchen'kinyh, 2004. S. 15, 55, 79–82.
9. Safonov A.S., Ushakov A.I., Oreshenkov A.V. Kachestvo avtomobil'nyh topliv. Ekspluatacionnye svoystva. Trebovaniya k kachestvu. Metody ispytaniy. NPIKC, 2006. S. 60, 79, 80.
10. Gazoanalizatory «INFRAKAR». Rukovodstvo po ekspluatatsii, sovmeshchennoe s pasportom. VERA. 413311 RE. M.: ООО «Al'fa-dinamika». 30 s.
11. Pokusaev M.N., Bukin V.G., Hmel'nickaya A.A. Eksperimental'noe issledovanie vrednyh vybrosov podvesnogo lodochnogo motora «Veterok-8M» v malom opytovom bassejne // Morskije intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 4 (42). T. 4. S. 105–109.

12. Varnatc Yu., Maas U., Dibbl R. Gorenje. Fizicheskie i himicheskie aspekty, modelirovanie, eksperimenty, obrazovanie zagryaznyayushchih veshchestv / per. s angl. G.L. Agafonova; pod red. P.A. Vlasova. M.: FIZMATLIT, 2006. 352 s.
13. Volkova L.Yu., Dorosh K.S. Analiz obrazovaniya oksidov azota v dvuhtoplivnom dvuhtaktnom dvigatele // Izvestiya KGTU. 2022. № 66. S. 153–162.
14. Salmin V.V., Sumenkov S.V., Dustmuratov N.A. Sovershenstvovanie rascheta rabochih processov dvuhtaktnyh DVS // Perspektivnye napravleniya razvitiya avtotransportnogo kompleksa: materialy XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza, 2018. S. 82–86.
15. Zhivlyuk G.E., Petrov A.P. Tekhnicheskoe obespechenie dlya sootvetstviya sudovyh energeticheskikh ustanovok novym trebovaniyam 2021 g. po vybrosam oksidov azota // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2020. T. 12. № 1. S. 122–138.
16. Enikeev R.D., Dombrovskij O.P., Garipov I.D. Eksperimental'nye karakteristiki dvuhtaktnogo benzinovogo dvigatelya s vysokoj stepen'yu szhatiya // Dvigatelsestroenie. 2012. № 3 (249). S. 7–11.
17. Sostoyanie problemy i metody snizheniya vrednyh vybrosov sudovyh energeticheskikh ustanovok / T.A. Makarevich [i dr.] // Eksploatatsiya morskogo transporta. 2022. № 2. S. 127–134.
18. Gureev A.A. Primenenie avtomobil'nyh benzinov. Leningrad: Himiya, 1972. S. 71.
19. Bezyukov O.K., Makar'ev E.V., Mahfud Maad Mohammed. Issledovanie teplovogo balansa sudovogo vysokooborotnogo dizelya pri ego ohlazhdenii vodoj i antifrizom // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2016. № 2 (36). S. 90–97.
20. Korol'chenko A.Ya. Processy goreniya i vzryva. M.: Pozhnauka, 2007. S. 154–163.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 24.01.2023; одобрена после рецензирования: 27.01.2023; принята к публикации: 08.02.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 24.01.2023; approved after review: 27.01.2023; accepted for publication: 08.02.2023

*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>

**Мальчиков Константин Борисович**, преподаватель кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: malchikov87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8173-6850>

*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>

**Malchikov Konstantin B.**, lecturer of the department of chemistry and combustion processes of Saint-Petersburg university of the State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: malchikov87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8173-6850>

Научная статья

УДК: 331.451; 572.087

## **КОГНИТИВНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНДИКАТОРОВ ОРГАНИЗМА МАШИНИСТОВ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД**

✉**Москвин Артём Александрович;**

**Целых Екатерина Дмитриевна.**

**Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия**

✉**a.moskvin.khv@mail.ru**

*Аннотация.* В статье опубликованы результаты тестирования организаторов здравоохранения (врачей) от 34 до 54 лет ( $n=44$ ), средний возраст:  $39,77 \pm 1,99$  лет, принимающих решение о наличии/отсутствии риска ухудшения состояния здоровья машинистов локомотивных бригад, готовящихся к выходу на маршрут. Определены количественные (временные) характеристики принятия решения о наличии/отсутствии риска ухудшения состояния здоровья машинистов локомотивных бригад, готовящихся к выходу на маршрут, основываясь на данных, представленных в табличном и визуализированном виде (инфографике) в информационной системе. Сделан вывод о том, что визуализация морфофункциональных индикаторов является эффективным способом сигнализации об индивидуальном риске машинистов локомотивных бригад, что позволяет своевременно принимать превентивные меры по обеспечению безопасности движения, что, в свою очередь, способствует снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.

*Ключевые слова:* машинисты локомотивных бригад, визуализация данных, индивидуальный риск, чрезвычайная ситуация, железнодорожный транспорт

**Для цитирования:** Москвин А.А., Целых Е.Д. Когнитивная интерпретация морфофункциональных индикаторов организма машинистов локомотивных бригад // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 138–145.

Scientific article

## **COGNITIVE INTERPRETATION OF MORPHOFUNCTIONAL INDICATORS OF THE ORGANISM OF ENGINE ENGINEERS OF LOCOMOTIVE BRIGADES**

✉**Moskvin Artyom A.;**

**Tselykh Ekaterina D.**

**Far eastern state university of railway transport, Khabarovsk, Russia**

✉**a.moskvin.khv@mail.ru**

*Abstract.* The article publishes the results of testing healthcare organizers (doctors) from 34 to 54 years old ( $n=44$ ), average age:  $39,77 \pm 1,99$  years old, who decide on the presence / absence of a risk to the health of locomotive crew drivers preparing to enter the route. The quantitative (temporal) characteristics of the decision-making on the presence / absence of a risk to the health of the drivers of locomotive crews preparing to enter the route are determined, based on the data presented in tabular and visualized form (infographics) in the information system. It is concluded that the visualization of morphofunctional indicators is an effective way of signaling the individual risk of locomotive crew drivers, which allows timely preventive measures to be taken to ensure traffic safety, which in turn helps to reduce the risk of emergency situations in railway transport.

*Keywords:* drivers of locomotive crews, data visualization, individual risk, emergency, railway transport

**For citation:** Moskvina A.A., Tselykh E.D. Cognitive interpretation of morphofunctional indicators of the organism of engine engineers of locomotive brigades // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 138–145.

### Актуальность исследования

Управление безопасностью на железнодорожном транспорте, которое включает в себя множество направлений, в том числе и разработку технологий, позволяющих прогнозировать и превентивно снижать риски возникновения чрезвычайных ситуаций, является одним из приоритетов работы в ОАО «Российские железные дороги». При этом, как и на других видах транспорта, в настоящее время наблюдается интенсификация (усложнение) трудового процесса. Происходит технологическое перевооружение путем приобретения (переоснащения) инновационных транспортных средств, а также внедрение передовых технологий и оборудования [1]. Проводится работа по реинжинирингу (переосмыслению) существующих бизнес-процессов. Происходит внедрение финансовых, организационно-экономических и технико-технологических мероприятий, так как принято считать, что это одни из ключевых направлений в области повышения эффективности производства и организации труда [2]. Для примера можно привести исследования некоторых российских (А.Н. Соловьев, Е.А. Третьяков (2022) и зарубежных (А. Dolinayova, V. Zitricky, L. Cerna (2020), D. Schipper, L. Gerrits (2018) ученых, которые отмечают потребность в совершенствовании эксплуатации электроподвижного состава на основе внедрения и совершенствования поддержки принятия управленческих решений [3–5]. Основным результатом внедрения данных мероприятий в производственном процессе может являться повышение уровня квалификации и мотивации труда работников при выполнении своих обязанностей, рост прибыли компании, повышение качества производственных процессов и выпускаемой продукции за счет внедрения инноваций и многое др.

Однако одной из доминирующих причин снижения эффективности производства остается человеческий фактор, который определяется характером поведения во внезапно возникающей ситуации, иногда чрезвычайной ситуации [6, 7]. Стоит отметить, что характер поведения работников железнодорожного транспорта зависит от многих факторов, в том числе: профессиональной подготовки, психоэмоционального, а также физиологического состояния.

Особое значение среди работников железнодорожного транспорта имеют машинисты, непосредственно отвечающие за управление и безопасность движения поезда – перевозки грузов и пассажиров [2]. Стоит отметить, что по показателям заболеваемости среди различной профессии у железнодорожников на первом месте находятся помощники машинистов и машинисты [8]. При этом «безопасность» в широком смысле можно гарантировать только после обеспечения готовности как «технической», так и «психофизиологической», то есть готовности самого человека. Исходная (психофизиологическая) готовность машиниста проверяется медицинскими работниками в ходе проведения обязательных предрейсовых или предсменных медицинских осмотров на железнодорожном транспорте общего пользования согласно приказу Минтранса России от 12 января 2021 г. № 4 «Об утверждении порядка проведения обязательных предрейсовых или предсменных медицинских осмотров на железнодорожном транспорте». Согласно инструкциям сотрудник лечебно-профилактического учреждения железнодорожного транспорта должен произвести оценку внешнего вида, походки, позы обследуемого, адекватности поведения и эмоциональных реакций, связанности и четкости речи, мимики, сознания, кожных покровов и видимых слизистых, окраски склер, величины зрачков, особенностей дыхания и многое др. Оценка многообразия психофизиологических факторов усложняется в первую очередь тем, что

отсутствует информационная система, которая отслеживала бы динамику по каждому машинисту, а при выявлении негативных изменений сигнализировала бы об этом. Во-вторых, стоит разделить когнитивную оценку и эмоции (эмоциональный настрой, отношение к машинисту) при проведении предрейсового осмотра медицинским работником, что, несомненно, является негативным моментом с точки зрения безопасности, так как допускает возможность прохождения предрейсового контроля машинистом, не соответствующим требованиям. Вышеописанные факты, несомненно, увеличивают риск возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте, в том числе по вине человека.

Цель исследования – проанализировать поведение лиц, принимающих решение о допуске машинистов локомотивных бригад к работе, на основе анализа данных физиологических характеристик, представленных на бумажном и цифровом носителе.

### Материалы и методы

Проведено тестирование организаторов здравоохранения (врачей) от 34 до 54 лет ( $n=44$ ), средний возраст:  $39,77 \pm 1,99$  лет, на добровольной основе, при условии подписания информированного согласия.

Тестирование осуществлялось в лекционной аудитории Краевого государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Институт повышения квалификации специалистов здравоохранения» Министерства здравоохранения Хабаровского края. Для проведения эксперимента врачи были разделены на две равные группы, сделано это было для того, чтобы подтвердить или опровергнуть результаты, полученные в группах. Фактически эксперимент был проведен дважды, и получена достоверная корреляция между результатами. После чего каждому врачу в обеих группах предоставили по 5 мин для того, чтобы они приняли решение о допуске/отказе в допуске у максимального количества машинистов. Для принятия решения врачам были доступны следующие антропометрические характеристики машинистов: возраст (Age), индекс массы тела (BMI), частота сердечных сокращений (Heart rate), насыщенность крови кислородом ( $SpO_2$ ), индекс стресса (stress index), систолическое (SAD) и диастолическое (DAD) артериальное давления, адаптационный потенциал (AP).

Делались замеры по следующим критериям: количество времени, затраченное на оценку одного машиниста, и количество машинистов, допущенных до маршрута.

Первой группе (Группа № 1) было предложено зафиксировать решение о допуске/отказе в допуске машиниста к работе на маршруте, где все антропометрические характеристики описаны в табличном виде на бумажном носителе.

Второй группе (Группа № 2) было предложено зафиксировать решение о допуске/отказе в допуске машиниста к работе на маршруте, где все антропометрические характеристики отображались в веб-приложении.

Данные антропометрических характеристик машинистов были использованы из зарегистрированной базы данных (Свидетельство о государственной регистрации № 2020622635 от 14 декабря 2020 г.) [9]. База данных состояла из следующих характеристик: возраст, рост, масса тела, индекс массы тела, динамометрия, окружность груди (глубокий вдох), окружность груди (глубокий выдох), окружность груди (спокойное состояние), средний показатель окружности грудной клетки, экскурсия грудной клетки, жизненный индекс, частота сердечных сокращений, возраст сосудистой системы, жесткость сосудов, насыщенность крови кислородом, индекс стресса, жизненная емкость легких, толщина жировых складок: d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, dcp, систолическое артериальное давление, диастолическое артериальное давление, пульсовое давление, систолический объем, минутный объем крови, адаптационный потенциал (по Баевскому), основной обмен по росту и возрасту у мужчин, основной обмен по массе (кдж/сутки).

Статистическая обработка данных выполнена при помощи пакета «Анализ данных» в Microsoft Office Excel, 2016.

### Результаты и их анализ

Один из основных факторов безопасности движения, а значит и снижение риска возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте – это хорошее с точки зрения здоровья состояние машиниста. Проверка на «исходную» готовность машиниста, которая проводится в пунктах предрейсового осмотра перед каждым выходом на маршрут, несомненно, необходимый компонент обеспечения безопасности движения и минимизации риска, связанного с «человеческим фактором» [10].

Стоит отметить, что состояние машиниста оказывает серьезное влияние не только на вероятность совершения ошибок, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций, но и играет ведущую роль при выполнении профессиональных функций непосредственно во время действия чрезвычайной ситуации на железнодорожном транспорте. Медицинский работник, который оформляет разрешающую документацию и допускает машиниста к работе, несет колоссальную ответственность, так как от его решения зависит жизнь и здоровье не только конкретного человека, но и безопасности движения в целом (перевозки грузов и пассажиров). Сложность в количестве оцениваемых факторов усугубляется эмоциональным подходом и, несомненно, мешает при объективной оценке состояния машиниста.

С целью проверки гипотезы о том, что использование информационной системы при допуске машиниста позволит существенно ускорить работу медицинского работника, сделать ее более эффективной, первой группе врачей было предложено произвести оценку антропометрических показателей машинистов на бумажных носителях (рис. 1).

ID_driver	Age (Возраст)	BMI (ИМТ)	Heart reat (ЧСС)	SPO2	Индекс стресса	SAD_0	DAD_0	AP_0	Admission decision
1	38	28,37	73	97	336	137	84	2,863	
2	48	28,73	62	95	121	145	86	3,019	
3	48	34,20	65	95	119	143	81	3,128	
4	39	28,74	79	98	85	141	82	2,992	
5	38	24,34	53	98	31	129	84	2,414	
6	40	26,88	64	98	84	131	86	2,679	
7	35	29,71	84	98	119	162	110	3,536	
8	32	28,09	88	96	323	123	73	2,651	
9	50	26,51	83	97	445	170	107	3,733	
10	42	26,81	87	96	323	120	67	2,663	

Рис. 1. Антропометрические характеристики машинистов локомотивных бригад в табличном виде (n=115)

Выполняя оценку состояния машиниста на бумажном носителе, врачам за 5 мин удалось обработать данные 27 машинистов ( $27 \pm 2,1$ ). На оценку одного машиниста в среднем уходило 10 с ( $10 \pm 0,9$ ).

При обработке данных машинистов на бумажном носителе в начале и в конце работы было потрачено максимальное количество времени на обработку одного машиниста (примерно на 14,3 % больше, чем в середине исследования). Данное наблюдение закономерно и связано с тем, что сначала врачи перестраивались на работу с определенной формой, а в конце заданного времени испытывали утомление. При этом на машинистов, которые имеют «хорошие» с точки зрения референтных интервалов характеристики, и машинистов, имеющих отклонения в негативную сторону, уходило примерно равное количество времени.

Стоит отметить, что в информационной системе физиологические характеристики, отклоняющиеся от пределов норматива, были выделены цветом, что должно способствовать более оперативному их анализу. Однако выделение цветом тех же характеристик на бумаге не повлияло на сокращение времени оценки состояния машиниста и принятия решения о допуске его на работу по маршруту.

Во второй группе для оценки характеристик машинистов было использовано веб-приложение, созданное на платформе WordPress с сервером базы данных MySQL (рис. 2).

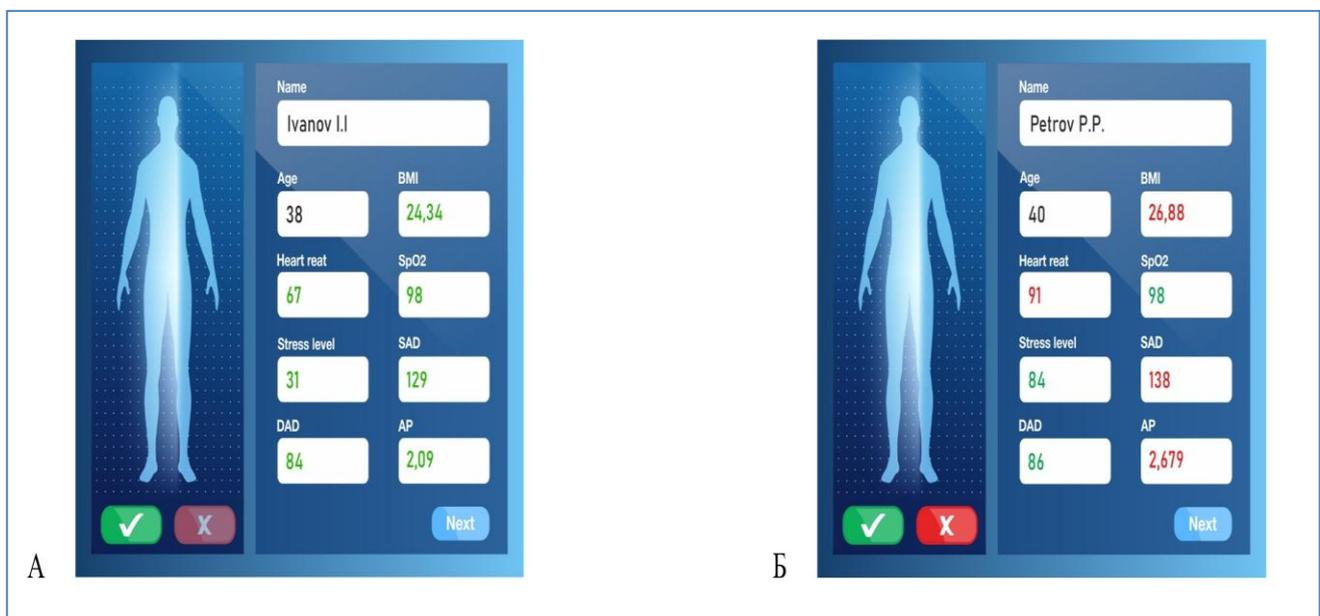


Рис. 2. Карточка машиниста: А – все антропометрические характеристики в пределах референтных интервалов; Б – часть антропометрических характеристик (выделены красным) определены за пределами референтных интервалов

*Примечание:* референтные интервалы – диапазон значений, который определяет показатели физиологического норматива, а в случае адаптационного потенциала – значения, указывающие на негативные показатели в части адаптации сердечно-сосудистой системы

Использование веб-приложения позволило врачам за 5 мин обработать данные 36 машинистов ( $36 \pm 1,8$ ). На оценку одного машиниста в среднем уходило по 8 с ( $8 \pm 0,5$ ), различие достоверно ( $p \leq 0,001$ ). При использовании веб-приложения у врачей уходило одинаковое количество времени как в начале обработки, так и к завершению работы. Объясняется это тем, что перед врачами был интуитивно понятный интерфейс, где характеристики, имеющие «негативные» отклонения, были подсвечены красным цветом. При этом на оценку машинистов, у которых были высвечены негативные характеристики, уходило на 23 % больше времени, так как, по всей видимости, врачам приходилось глубже анализировать комбинации характеристик на основании собственного опыта и когнитивных навыков.

## Заключение

Таким образом, использование информационных систем при принятии решений о допуске/отказе в допуске машинистов обосновано, так как даже при работе с небольшим количеством характеристик и в условиях ограниченного времени Группа № 2, работающая с информационной системой, обработала на 25 % больше машинистов, чем группа, принимающая решение на бумажном носителе.

В Группе № 2 была выявлена интересная закономерность, которая была связана с тем, что при работе с карточкой машиниста, имеющего отклонения характеристик (когда система сигнализировала об этом) уходило больше времени, чем в среднем уходило времени на одного машиниста из Группы № 1. Вероятно, это связано с повышенной ответственностью к выносимому решению, в связи с чем требуется дополнительное время на анализ обрабатываемой информации. Данный факт, несомненно, будет оказывать положительное влияние на обеспечение безопасного движения железнодорожного транспорта, так как позволяет более подробно работать с машинистами «группы риска», которые по своему психофизиологическому состоянию больше других склонны к совершению профессиональных ошибок, что может привести к риску возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.

Информационная система на основе веб-приложения позволит исключить эмоциональную составляющую при принятии решения о допуске машиниста и максимально задействовать когнитивные способности лица, принимающего решение. Возможности системы в сигнализации, масштабировании и отслеживании антропометрических характеристик в динамике позволят превентивно выявлять машинистов «группы риска» и снижать риски возникновения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте, в том числе по вине человека.

### Список источников

1. Самсонкин В.Н., Петинов Я.П. Исследование особенностей деятельности машиниста поезда в современных условиях: взгляд изнутри профессии // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 78. С. 40–45.
2. Хоменко Я.В., Рачек С.В. Совершенствование технологических процессов для повышения эффективности труда на предприятиях железнодорожного транспорта // Вестник Евразийской науки. 2019. № 2.
3. Соловьев А.Н., Третьяков Е.А. К вопросу о совершенствовании эксплуатации электроподвижного состава на основе системы поддержки принятия решений машиниста // Молодежь и системная модернизация страны: сб. науч. статей 7-й Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых. Курск, 2022. Т. 5. С. 93–97.
4. Dolinayova A., Zitricky V., Cerna L. Decision-making process in the case of insufficient rail capacity // Sustainability. 2020. Vol. 12. № 12. P. 5023.
5. Schipper D., Gerrits L. Differences and similarities in European railway disruption management practices // Journal of rail transport planning & management. 2018. Vol. 8. № 1. P. 42–55.
6. Богданова В.Е. Исследование взаимосвязи свойств личностной зрелости с ошибками деятельности работников локомотивных бригад // Психология труда и управления как ресурс развития общества в условиях глобальных изменений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию факультета психологии Тверского государственного университета. Тверь, 2018. С. 18–24.
7. Репина И.Б. Учет влияния человеческого фактора на организационно-технологическую надежность производственных процессов инфраструктуры железных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2015. 24 с.
8. Медников Д.А., Стародубцев В.В. Заболеваемость работников локомотивных бригад и ее оценка с использованием нечеткой логики принятия решений // Медико-экологические

информационные технологии – 2020: сб. науч. статей по материалам XXIII Междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2020. Т. 1. С. 188–191.

9. Антропометрические характеристики машинистов локомотивных бригад: свидетельство о регистрации базы данных 2020622635 Российская Федерация / А.А. Москвин, Е.Д. Целых, М.Х. Ахтямов; опубл. 14.12.2020. Хабаровск, 2020.

10. Сергеева М.Д., Сергеев О.Е. Человеческий фактор при оценке риска на железнодорожном транспорте // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. № S1. С. 99–100.

## References

1. Samsonkin V.N., Petinov Ya.P. Issledovanie osobennostej deyatel'nosti mashinista poezda v sovremennyh usloviyah: vzglyad iznutri professii // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. 2015. № 78. S. 40–45.

2. Homenko Ya.V., Rachek S.V. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh processov dlya povysheniya effektivnosti truda na predpriyatiyah zheleznodorozhnogo transporta // Vestnik Evrazijskoj nauki. 2019. № 2.

3. Solov'ev A.N., Tret'yakov E.A. K voprosu o sovershenstvovanii ekspluatscii elektropodvizhnogo sostava na osnove sistemy podderzhki prinyatiya reshenij mashinista // Molodezh' i sistemnaya modernizatsiya strany: sb. nauch. statej 7-j Mezhdunar. nauch. konf. studentov i molodyh uchenyh. Kursk, 2022. Т. 5. S. 93–97.

4. Dolinayova A., Zitricky V., Cerna L. Decision-making process in the case of insufficient rail capacity // Sustainability. 2020. Vol. 12. № 12. P. 5023.

5. Schipper D., Gerrits L. Differences and similarities in European railway disruption management practices // Journal of rail transport planning & management. 2018. Vol. 8. № 1. P. 42–55.

7. Repina I.B. Uchet vliyaniya chelovecheskogo faktora na organizacionno-tekhnologicheskuyu nadezhnost' proizvodstvennyh processov infrastruktury zheleznih dorog: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Novosibirsk, 2015. 24 s.

6. Bogdanova V.E. Issledovanie vzaimosvyazi svojstv lichnostnoj zrelosti s oshibkami deyatel'nosti rabotnikov lokomotivnyh brigad // Psihologiya truda i upravleniya kak resurs razvitiya obshchestva v usloviyah global'nyh izmenenij: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 25-letiyu fakul'teta psihologii Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Tver', 2018. S. 18–24.

8. Mednikov D.A., Starodubcev V.V. Zabolevaemost' rabotnikov lokomotivnyh brigad i ee ochenka s ispol'zovaniem nechetkoj logiki prinyatiya reshenij // Mediko-ekologicheskie informacionnye tekhnologii – 2020: sb. nauch. statej po materialam XVIII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Kursk, 2020. Т. 1. S. 188–191.

9. Antropometricheskie karakteristiki mashinistov lokomotivnyh brigad: svidetel'stvo o registracii bazy dannyh 2020622635 Rossijskaya Federaciya / A.A. Moskvin, E.D. Celyh, M.H. Ahtyamov; opubl. 14.12.2020. Habarovsk, 2020.

10. Sergeeva M.D., Sergeev O.E. Chelovecheskij faktor pri ocenke riska na zheleznodorozhnom transporte // Informacionnye tekhnologii i sistemy: upravlenie, ekonomika, transport, право. 2022. № S1. S. 99–100.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 21.11.2022; одобрена после рецензирования: 20.02.2023;  
принята к публикации: 15.03.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 21.11.2022; approved after review: 20.02.2023;  
accepted for publication: 15.03.2023

*Информация об авторах:*

**Москвин Артем Александрович**, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47), e-mail: a.moskvin.khv@mail.ru

**Целых Екатерина Дмитриевна**, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47), доктор биологических наук, доцент, e-mail: Celixed@mail.ru

*Information about the authors:*

**Moskvin Artyom A.**, postgraduate student of the department of technosphere safety of the Far eastern state university of railways (680021, Khabarovsk, Serysheva str., 47), e-mail: a.moskvin.khv@mail.ru

**Tselykh Ekaterina D.**, professor of the technosphere safety department of the Far eastern state university of railway transport (680021, Khabarovsk, Serysheva str., 47), doctor of biological sciences, associate professor, e-mail: Celixed@mail.ru

Научная статья  
УДК 614.841.48

## **РИСК-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ С УВЕЛИЧЕННЫМ АВТОНОМНЫМ ХОДОМ**

✉ **Кубанов Ибрагим Наурузович;**

**Минкин Денис Юрьевич.**

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

✉ *ibragim.kubanov@bk.ru*

*Аннотация.* Выявление влияния особенностей конструкций троллейбуса с увеличенным автономным ходом на конечные пожарные риски требует разработки специальных методик моделирования и испытаний, основой которых будут риск-ориентированные методы, учитывающие наличие на борту мощного массивного и химически опасного источника питания. В ходе анализа было выявлено, что основной группой рисков в троллейбусах с увеличенным автономным ходом являются пожарные риски, связанные с эксплуатацией и техническим обслуживанием литий-ионных аккумуляторных батарей. В целях управления пожарными рисками была разработана данная риск-ориентированная методика испытания аккумуляторных батарей для троллейбусов с увеличенным автономным ходом, учитывающая наиболее значимые риски для пассажиров и обслуживающего персонала, связанные с особенностями функционирования данного вида электротранспорта. Методика успешно опробована в рамках совместных испытаний Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России и ГУП «Горэлектротранс» и может быть использована при испытаниях аккумуляторных батарей новых конструкций.

*Ключевые слова:* пассажирский электротранспорт, литий-ионные аккумуляторные батареи, троллейбус с увеличенным ходом, пожарная безопасность

**Для цитирования:** Кубанов И.Н., Минкин Д.Ю. Риск-ориентированная методика испытания аккумуляторных батарей для троллейбусов с увеличенным автономным ходом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 146–156.

Scientific article

## **RISK-BASED BATTERY TESTING METHODOLOGY FOR TROLLEYBUS WITH INCREASED AUTONOMOUS TRAVEL**

✉ **Kubanov Ibragim N.;**

**Minkin Denis Yu.**

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

✉ *ibragim.kubanov@bk.ru*

*Abstract.* Identification of the influence of trolleybus with increased autonomous travel design features on the ultimate fire risks requires the development of special modeling and testing techniques, which will be based on risk-oriented methods that take into account the presence of a powerful massive and chemically hazardous power source on board. During the analysis, it was revealed that the main group of risks in trolleybus with increased autonomous travel are fire risks

associated with the operation and maintenance of lithium-ion rechargeable batteries. In order to manage fire risks, this risk-oriented method of testing batteries for trolleybuses with increased autonomous travel was developed, taking into account the most significant risks for passengers and service personnel associated with the functioning of this type of electric transport. The methodology has been successfully tested in the framework of joint tests of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia and the SUE «Gorelectrotrans» and can be used when testing batteries of new designs.

*Keywords:* passenger electric transport, lithium-ion batteries, trolleybus with increased travel, fire safety

**For citation:** Kubanov I.N., Minkin D.Yu. Risk-based battery testing methodology for trolleybus with increased autonomous travel // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 146–156.

## Введение

В настоящее время городской пассажирский электротранспорт развивается по пути создания подвижного состава с автономным ходом (электробусы, троллейбусы с увеличенным автономным ходом (ТУАХ), электромобили). Предпосылками к этому является появление и развитие энергоемких и перезаряжаемых батарей, позволяющих производить многократную перезарядку. При этом следует отметить, что ТУАХ занимает весьма выгодную эксплуатационную промежуточную позицию между электробусом и троллейбусом и может двигаться как с использованием контактной сети, так и автономно. Это позволяет быстро и без дополнительных затрат расширять маршрутные сети за пределы имеющейся в городе контактно-кабельной сети. При этом стоимость ТУАХ и его массогабаритные характеристики лучше, чем у электробуса (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнение различного пассажирского транспорта по ряду критериев**

Вид ТС Критерий сравнения	Автобус	Троллейбус	ТУАХ	Электробус
Макс. вместимость пассажиров	110 чел.	118 чел.	118 чел.	85 чел.
Срок службы ПС	7 лет	12 лет	12 лет	12 лет
Тип топлива	Бензин/дизель	Электроэнергия	Электроэнергия	Электроэнергия
Система подогрева ПС	Дизельное	Электрическое	Электрическое	Дизельное
Уровень экологичности	Низкий	Высокий	Высокий	Средний
Уровень комфорта	Низкий	Средний	Высокий	Высокий
Экономичность (затраты на топливо рублей на 100 км)	2 100	419	314	524
Стоимость ТО (рублей/год)	410 000	220 000	294 000	297 000
Дополнительные требования к инфраструктуре	–	Контактная сеть на всей протяженности маршрута	Контактная сеть на половине протяженности маршрута	Зарядные станции с технологией быстрой зарядки

Вид ТС Критерий сравнения	Автобус	Троллейбус	ТУАХ	Электробус
Недостатки	Эксплуатационные затраты, загрязнение воздуха и почвы, шумовое загрязнение, необходимость частого ремонта	Ограничения в возможности огибать препятствия	Ограничение маневренности до 25 км	Необходимость траты времени на зарядку ЛИАБ
Затраты за 12 лет + замена батарей для обеспечения одинакового маршрута	825 млн	616 млн	723 млн	897 млн

*Примечание:* ПС – подвижной состав; ТС – транспортное средство; ТО – техническое обслуживание

Все эти преимущества обуславливают выбор в ряде городов ТУАХ как приоритетного вида пассажирского электротранспорта. Электротранспорт выпускают серийно, и ТУАХ есть на сегодня в модельном ряду практически у каждого крупного автопроизводителя. По мере распространения ТУАХ все более актуализируются вопросы, связанные с их безопасностью.

### **Классификация и пожарная опасность ЛИАБ на электротранспорте**

В ТУАХ применяют блоки литий-ионных аккумуляторных батарей (ЛИАБ). Питая от ЛИАБ всю бортовую сеть, от систем контроля климата до электрического привода, ТУАХ может преодолеть расстояние до 25 км в городском цикле. Расстояние, которое преодолевает электротранспорт, потребляя электроэнергию исключительно от ЛИАБ, называется «автономный ход» электротранспорта. Величина автономного хода зависит от мощности ЛИАБ и энергии, потребляемой электрическим приводом.

В современном мире существует огромное множество различных типов аккумуляторных батарей, но далеко не все подходят для ежедневного их использования в качестве постоянного источника тока на электротранспорте.

Основные разновидности аккумуляторных батарей:

- свинцо-кислотные аккумуляторные батареи;
- гелевые аккумуляторные батареи;
- никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd);
- литий-ионные аккумуляторы (Li-ion).

В ТУАХ и электробусах наиболее часто используют литий-ионные аккумуляторные батареи различных модификаций ( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_4$ , LiNMC, Li-Pol).

ЛИАБ имеют высокую плотность энергии, отсутствие эффекта памяти и низкий саморазряд [1].

Литий, применяемый в качестве энергоносителя батареи, является активным щелочным металлом, что и обуславливает его высокую пожаровзрывоопасность.

Можем выделить ряд возможных причин возникновения аварийных ситуаций, в том числе пожаров, в литий-ионных аккумуляторных батареях, основными из которых являются следующие:

- высокая влажность воздуха;
- экстремальные температуры;
- дефекты зарядных станций и кабелей;
- механическое повреждение батареи;
- непосредственное воздействие открытого источника пламени;
- внутренние токи утечки;

- короткое замыкание;
- нарушение целостности батареи (разгерметизация).

Помимо этого, в ЛИАБ образуются дендриты (ветвистые выступы, выходящие из металлической поверхности лития), которые впоследствии могут привести к КЗ, и, как следствие, к пожару.

При механическом повреждении и разгерметизации батареи происходит растекание электролита. Помимо прямой угрозы воспламенения, его продукты горения крайне опасны для здоровья человека. При горении электротранспорта происходит выделение едкого дыма и токсичных газов, что может привести к поражению путей дыхательной системы и органов зрения людей.

### Конструкционные особенности и пожарная опасность ТУАХ

Аварийные режимы аккумуляторных батарей могут привести к экзотермическим реакциям и, как следствие, повышению температуры выше предельно допустимой. Совокупность этих факторов может служить причиной возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, вследствие которых может быть нанесен вред жизни и здоровью людей как во время движения транспорта, так и при его техническом обслуживании. Причем режим технического обслуживания с точки зрения пожарной опасности особенно важен, так как значительное количество техники с ЛИАБ может одновременно находиться в закрытых помещениях троллейбусного депо [2] (табл. 2–4).

Городской пассажирский электротранспорт характеризуется нахождением в нем одновременно большого количества пассажиров. По статистике один ТУАХ перевозит до 1 000 пассажиров в день, а в среднем в течение смены одновременно в ТУАХ находится около 60–80 пассажиров. В городском электротранспорте могут находиться пассажиры пожилого и дошкольного возраста, беременные женщины, а также пассажиры различных групп мобильности.

Таблица 2

#### Конструктивные особенности размещения ЛИАБ на различных моделях ТУАХ

Модель ТУАХ	Размещение ЛИАБ	ЛИАБ	Производитель ЛИАБ
Тролза 5265.08	на крыше	LFP (литий-железо-фосфатные)	ООО «Лиотех-Инновации»
ПКТС – 6281.01 «Адмирал»	на крыше	NMC (никель-марганец-кобальт)	ООО «ЭнерЗет»
5898-0000010-01 «Авангард»	на крыше	NMC (никель-марганец-кобальт)	ООО «ЭнерЗет»
Тролза 5265.02	в багажном отсеке	ЛТО литий-титано-оксидный	Компания Драйв Электро
АКСМ 32100D	в багажном отсеке	NMC (никель-марганец-кобальт)	ООО «ЭнерЗет»

Таблица 3

#### Показатели пожарной опасности отделочных материалов ТУАХ

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	Группа горючести (по ГОСТ 30244)	Г1 (слабогорючий)
2	Группа воспламеняемости (по ГОСТ 30402)	В2 (умеренновоспламеняемый)
3	Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов при времени экспозиции 30 мин ( $H_{CL50}$ ) (группа по токсичности продуктов горения) г/м <sup>3</sup> , более (по ГОСТ 12.1.044)	40 (Т2 умеренноопасный)
4	Коэффициент дымообразования (группа по дымообразующей способности) м <sup>2</sup> /кг, не более (по ГОСТ 12.1.044)	500 (Д2 с умеренной дымообразующей способностью)
5	Группа распространения пламени (по ГОСТ Р 51032–97)	РП1 (нераспространяющие)

**Физико-механические показатели конструкционных и отделочных материалов ТУАХ**

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,6–2,0
2	Водопоглощение за 24 ч при 23 °С, %	0,7±0,03
3	Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м <sup>2</sup>	Образцы не разрушаются
4	Сопротивление удару по Шарпи, кДж/м <sup>2</sup> : – при ударе с лицевой стороны; – при ударе с обратной стороны	>110 >80
5	Прочность при растяжении, МПа	112±13
6	Модуль упругости при растяжении, МПа	9 300±900
7	Изгибающее напряжение при разрушении, МПа	200±5

На основе особенностей конструкций ТУАХ [3], режимов его обслуживания и эксплуатации авторы определили пожарные риски, связанные с расположением ЛИАБ:

1. На крыше троллейбуса:

- перегрев ЛИАБ по причине воздействия прямых солнечных лучей и выхода из строя системы кондиционирования;
- разлив электролита по технологическим щелям в ПС при разгерметизации ЛИАБ и дальнейшее воспламенение;
- экзотермическая реакция горения ЛИАБ приводит к потере несущей способности крыши троллейбуса и обрушению ее на пассажиров;
- угроза пассажирам ТУАХ и другим участникам движения при взрыве ЛИАБ;
- поражение электрическим током пассажиров и участников движения от высоковольтных проводов по причине обрыва контактной сети из-за горения ЛИАБ.

2. В багажном отсеке:

- разлив электролита по технологическим щелям в ПС при разгерметизации ЛИАБ и дальнейшее воспламенение;
- распространение пожара и термическое воздействие на ТС других участников движения;
- проникновение токсичных продуктов горения в ПС, угроза жизни и здоровью пассажиров;
- разлив и воспламенение бензина ТС иных участников движения под отсеком ЛИАБ при дорожно-транспортном происшествии;
- быстрое распространение пожара из багажного отсека в пассажирский.

Пожарные риски, возникающие при техническом обслуживании:

- пожар или взрыв по причине теплового разгона при перезарядке ЛИАБ;
- воспламенения ЛИАБ от маломощного источника зажигания (фрикционная искра) при проведении огневых работ;
- падение ЛИАБ с высоты, разгерметизация и выделение токсичных паров, угроза жизни и здоровью работников парка.

Выявление влияния особенностей конструкций ТУАХ на конечные пожарные риски требует разработки специальных методик моделирования и испытаний, основой которых будут риск-ориентированные методы, учитывающие наличие на борту мощного массивного и химически опасного источника питания [4]. Именно этот факт принципиально отличает ТУАХ от троллейбуса с точки зрения техногенной опасности.

Авторами были проанализированы существующие методики испытаний объектов с похожими технологиями. Известные методики испытания: литий-ионных аккумуляторных батарей космического назначения учитывают особенности эксплуатации в безвоздушном пространстве [5]; капсульных ЛИАБ в подводных лодках учитывают высокие требования безопасности к военным объектам [6]; ЛИАБ в электромобилях учитывают особенность их расположения – в днище транспорта [7], в средствах индивидуальной мобильности

учитывают небольшую мощность ЛИАБ и особые условия хранения [8]. Каждая методика испытаний учитывает особенности конкретного объекта и не может быть использована для испытания ЛИАБ – объекта с иными эксплуатационными особенностями.

В ходе анализа было выявлено, что существующие методики испытания ЛИАБ не учитывают мощность, массогабаритные характеристики, особенности эксплуатации, ТО и расположения батарей в ТУАХ. В связи с чем необходима разработка специализированной методики испытаний, учитывающей особенности эксплуатации и ТО ЛИАБ в ТУАХ.

Предлагаемая (разработанная) авторами методика включает в себя программу проведения испытаний ЛИАБ, моделирующих сценарии повреждения литий-ионных аккумуляторов в периоды эксплуатации (движения) и технического обслуживания объектов транспорта, направленные на оценку:

- пожарной опасности литий-ионных аккумуляторов в наиболее представительных режимах их эксплуатации;
- пожарной опасности литий-ионных аккумуляторов при наиболее неблагоприятных прогнозируемых сценариях развития пожара.

При проведении огневых испытаний реальная пожарная нагрузка будет заменена эквивалентной пожарной нагрузкой на основе материалов, характерных для салона ТУАХ и горючих жидкостей и т.п. Пожарная нагрузка по характеру, величине, способу размещения и т.п. при проведении огневых испытаний литий-ионных аккумуляторов в методике соответствует реальным условиям их эксплуатации.

Параметры внешней среды (температура воздуха, скорость ветра, направление ветра и т.п.) при проведении испытаний должны соответствовать условиям той климатической зоны, в которой осуществляется эксплуатация подвергаемых испытаниям литий-ионных аккумуляторов [9]. В статье были проанализированы представленные городским электрическим транспортом (ГЭТ) Санкт-Петербурга и ГЭТ г. Симферополя результаты испытаний соответствия условий эксплуатации ЛИАБ требованиям климатических зон. В ходе анализа выявлены климатические особенности, влияющие на условия эксплуатации ЛИАБ. В Санкт-Петербурге это обильные осадки, химическая обработка дорог, которая повреждает контакты, температуры ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В г. Симферополе это температуры выше  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и сложный рельеф с большим количеством спусков и подъемов, приводящих к большим токам в электроприводе [10].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что существующие на сегодняшний день риск-ориентированные методики разработаны для троллейбусов и не могут быть применены для ТУАХ, так как не учитывают оснащение его ЛИАБ [11]. В связи с чем возникла необходимость разработки специализированной риск-ориентированной методики испытания аккумуляторных батарей для ТУАХ [12]. В ходе анализа было выявлено, что основной группой рисков в ТУАХ являются пожарные риски, связанные с эксплуатацией и техническим обслуживанием ЛИАБ [13]. В целях управления пожарными рисками была разработана данная риск-ориентированная методика испытания литий-ионных аккумуляторных батарей для ТУАХ.

Структура риск-ориентированной методики испытания ЛИАБ в зависимости от их местоположения в ТУАХ приведена на рис. 1.

Структура анализируемых рисков для ЛИАБ в ТУАХ приведена на рис. 2.

Отметим ряд технических особенностей, моделируемых в ходе испытаний.

Оборудование, используемое для регистрации следующих параметров в ходе испытаний [14]:

- температура нагрева (термоэлектрических преобразователей ТП-0198);
- величина теплового потока (датчик теплового потока ДТВП);
- температура на поверхности образца (инфракрасного пирометра С-300,3);
- негерметичность, выбросы, утечка электролита;
- время появления и характер повреждений, деформаций, разрушения;
- дымление, горение или взрыв.

Оборудование для фиксации условий проведения испытаний:

- термометр технический (температура окружающей среды);
- психрометр аспирационный МВ-4М (относительная влажность среды);
- барометр-анероид БАММ-1(атмосферное давление).

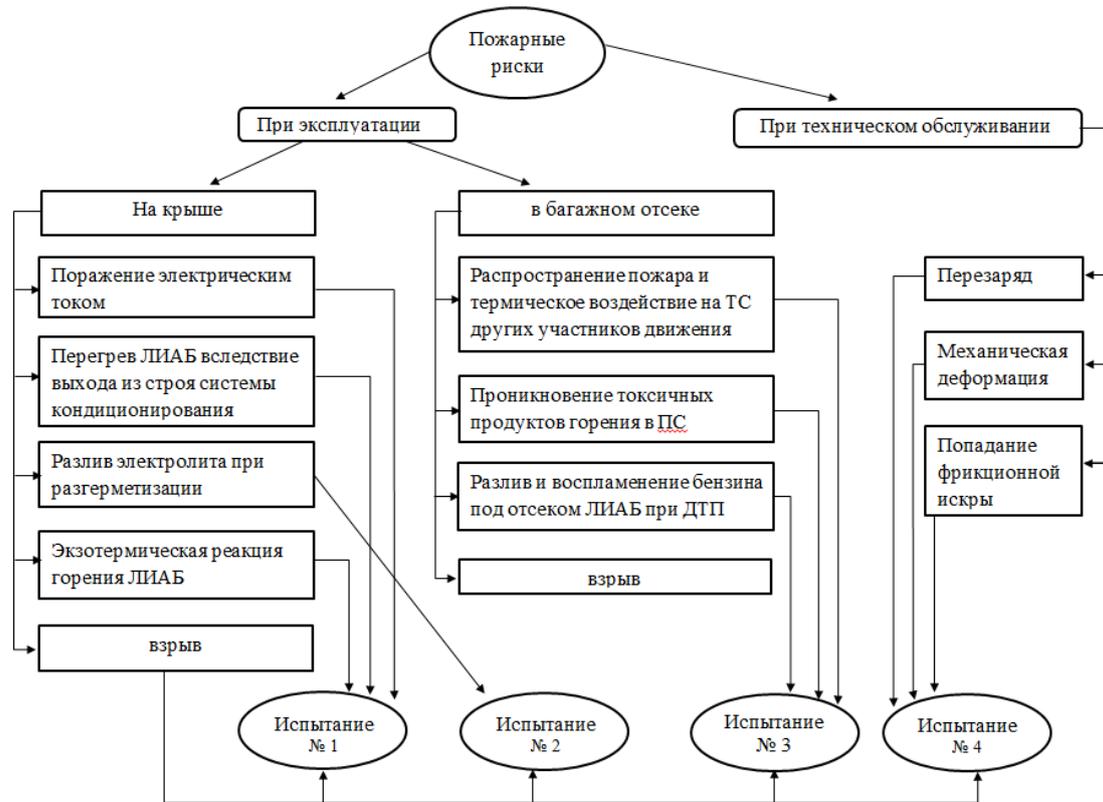


Рис. 1. Структура риск-ориентированной методики испытания ЛИАБ в зависимости от их местоположения в ТУАХ

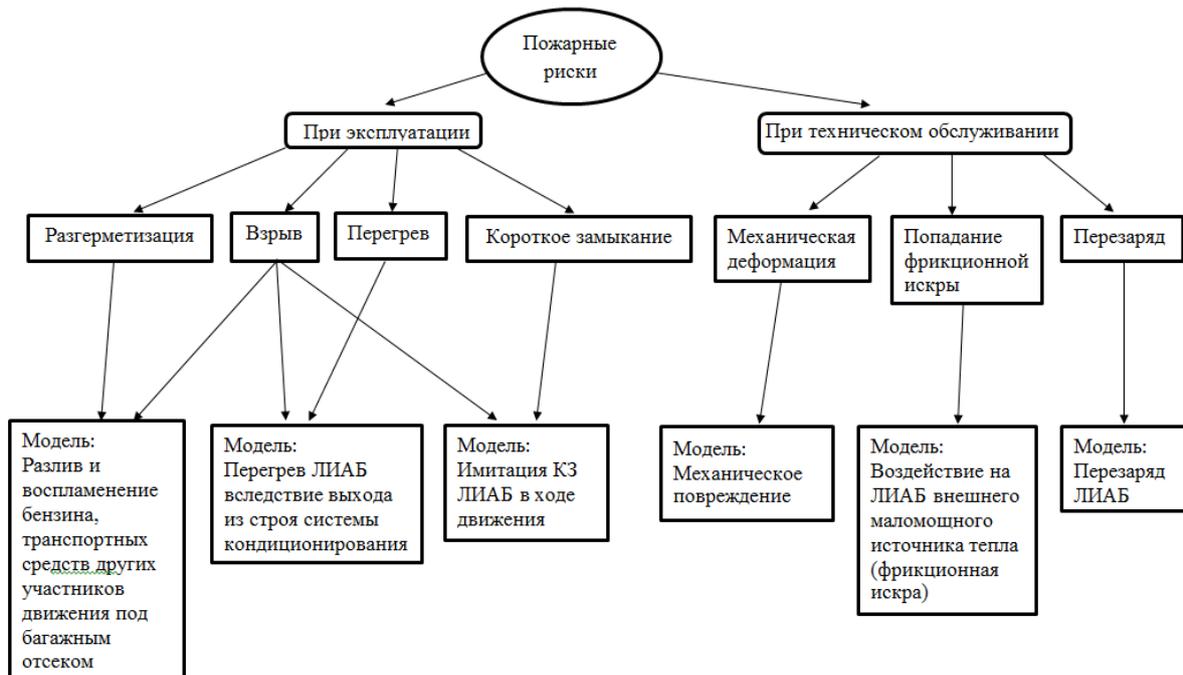


Рис. 2. Структура анализируемых рисков для ЛИАБ в ТУАХ

Нагрев образцов, моделирующий перегрев ЛИАБ при выходе из строя системы кондиционирования [15], обеспечивается электрической радиационной панелью размером 0,27x0,51 м (рис. 3).



Рис. 3. Ячейка аккумулятора LT-LFP170В во время испытания

Моделирование воздействия на образцы внешних источников тепла (фрикционных искр) обеспечивается при работе угловой шлифовальной машины при резке стальной пластины толщиной 0,05 м (рис. 4).



Рис. 4. Ячейка аккумулятора EnerDel во время испытания

Моделирование механических повреждений производится путем сбрасывания ячейки аккумулятора с высоты 5 м на бетонный пол (рис. 5).



Рис. 5. Ячейка аккумулятора LT-LFP170В после испытания

### Заключение

В рамках настоящей работы создана риск-ориентированная методика испытания аккумуляторных батарей для ТУАХ, учитывающая наиболее значимые риски для пассажиров и обслуживающего персонала, связанные с особенностями функционирования данного вида электротранспорта.

Методика успешно опробована в рамках совместной работы Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России и ГУП «Горэлектротранс» и может быть применена при испытаниях батарей новых конструкций.

Специальная комиссия ГУП «Горэлектротранс» подтвердила, что с учетом проведенных исследовательских испытаний, моделирующих сценарии повреждения литий-ионных аккумуляторов в период эксплуатации (движения) и технического обслуживания объектов транспорта, допускается применение при проведении технического обслуживания и ремонта ПС, его эксплуатации и при составлении технических заданий на закупку ПС нового строительства, оборудованного системами автономного хода.

### Список источников

1. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ.: в 2 кн. / А.Н. Баратов [и др.]. М.: Химия, 1990. 496 с.
2. Предельные условия и особенности воспламенения, горения и тушения различных металлов / А.Л. Чибисов [и др.]. // Водородное материаловедение и химия гидридов металлов: сб. тезисов VII Междунар. конф. Ялта, 2001. С. 416.
3. Пожарная безопасность автотранспорта с высоковольтным силовым оборудованием и объектов его транспортной инфраструктуры / О.В. Двоенко [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 4. С. 11–17. DOI: 10.25257/FE.2020.4.11-17.
4. Моторыгин Ю.Д., Баранова Я.А., Латышев А.О. Расчет пожарных рисков на транспорте стохастическим методом // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. Т. 1. № 1 (5). С. 13–16.
5. Минкин Д.Ю., Кубанов И.Н. Преимущества использования троллейбусов с увеличенным автономным ходом для снижения негативного воздействия на окружающую среду // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2021: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2021. С. 82–85.
6. Ежелева Е.Е., Мельник А.А., Елисеев Ю.Н. Исследование пожаров, связанных с возгоранием литий-ионных аккумуляторных батарей на транспорте // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 1. С. 50–53.

7. Демидович И.С., Савин В.А. Проблемы безопасности аккумуляторных батарей современного электротранспорта // Проблемы безопасности. 2020. Ч. 5. С. 169–171.
8. Минкин Д.Ю., Кубанов И.Н. Противопожарная защита городского пассажирского электротранспорта // Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация: материалы Всерос. науч.-техн. конф. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. С. 72–77. EDN OOWOON.
9. Dorsz A., Lewandowski M. Analysis of fire hazards associated with the operation of electric vehicles in enclosed structures // *Energies*. 2021. Т. 15. № 1. С. 11.
10. Study of the fire behavior of high-energy lithium-ion batteries with full-scale burning test / P. Ping [et al.] // *Journal of power sources*. 2021. Т. 285. С. 80–89.
11. Плотников В.Г., Чешко И.Д., Кондратьев С.А. Пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов и низковольтных источников питания на их основе // *Расследование пожаров*. 2019. С. 53–58.
12. Мокряк А.В. Анализ пожарной опасности электромобилей // *Modern science*. 2021. № 1–2. С. 475–479.
13. Møller I.M. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover and metabolism of reactive oxygen species // *Annual review of plant biology*. 2021. Т. 52. № 1. С. 561–591.
14. Аносов Е.Ю., Ушкалов В.В., Бутенко Ю.Л. Пожарная опасность литий-ионных батарей, устанавливаемых на электроавтомобилях // *Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования*. 2020. № 3. С. 46–49.
15. McKenna S.T., Hull T.R. The fire toxicity of polyurethane foams // *Fire science reviews*. 2020. Т. 5. № 1. С. 1–27.

## References

1. PozharovzYROVOOPASNOST' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya: sprav.: v 2 kn. / A.N. Baratov [i dr.]. M.: Himiya, 1990. 496 s.
2. Predel'nye usloviya i osobennosti vosplamneniya, goreniya i tusheniya razlichnykh metallov / A.L. Chibisov [i dr.]. // *Vodorodnoe materialovedenie i himiya gidridov metallov: sb. tezisov VII Mezhdunar. konf. Yalta, 2001*. S. 416.
3. Pozharnaya bezopasnost' avtotransporta s vysokovol'tnym silovym oborudovaniem i ob"ektov ego transportnoj infrastruktury / O.V. Dvoenko [i dr.] // *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*. 2020. № 4. S. 11–17. DOI: 10.25257/FE.2020.4.11-17.
4. Motorygin Yu.D., Baranova Ya.A., Latyshev A.O. Raschet pozharnykh riskov na transporte stohasticheskim metodom // *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*. 2014. Т. 1. № 1 (5). S. 13–16.
5. Minkin D.Yu., Kubanov I.N. Preimushchestva ispol'zovaniya trollejbusov s uvelichennym avtonomnym hodom dlya snizheniya negativnogo vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu // *Transport Rossii: problemy i perspektivy – 2021: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: Institut problem transporta im. N.S. Solomenko RAN, 2021*. S. 82–85.
6. Ezheleva E.E., Mel'nik A.A., Eliseev Yu.N. Issledovanie pozharov, svyazannykh s vozgoraniem litij-ionnykh akkumulyatornykh batarej na transporte // *Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik*. 2021. № 1. S. 50–53.
7. Demidovich I.S., Savin V.A. Problemy bezopasnosti akkumulyatornykh batarej sovremennogo elektrotransporta // *Problemy bezopasnosti*. 2020. Ch. 5. S. 169–171.
8. Minkin D.Yu., Kubanov I.N. Protivopozharnaya zashchita gorodskogo passazhirskogo elektrotransporta // *Pozharnaya bezopasnost' ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva. Normativy, proektirovanie, ustrojstvo i ekspluataciya: materialy Vseros. nauch.-tekhn. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022*. S. 72–77. EDN OOWOON.
9. Dorsz A., Lewandowski M. Analysis of fire hazards associated with the operation of electric vehicles in enclosed structures // *Energies*. 2021. Т. 15. № 1. P. 11.

10. Study of the fire behavior of high-energy lithium-ion batteries with full-scale burning test / P. Ping [et al.] // Journal of power sources. 2021. Т. 285. P. 80–89.
11. Plotnikov V.G., Cheshko I.D., Kondrat'ev S.A. Pozharnaya opasnost' litij-ionnykh akkumulyatorov i nizkovol'nykh istochnikov pitaniya na ih osnove // Rassledovanie pozharov. 2019. S. 53–58.
12. Mokryak A.V. Analiz pozharnoj opasnosti elektromobilej // Modern science. 2021. № 1–2. S. 475–479.
13. Møller I.M. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover and metabolism of reactive oxygen species // Annual review of plant biology. 2021. Т. 52. № 1. P. 561–591.
14. Anosov E.Yu., Ushkalov V.V., Butenko Yu.L. Pozharnaya opasnost' litij-ionnykh batarej, ustanavlivaemyh na elektroavtomobilyah // Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problem i puti sovershenstvovaniya. 2020. № 3. S. 46–49.
15. McKenna S.T., Hull T.R. The fire toxicity of polyurethane foams // Fire science reviews. 2020. Т. 5. № 1. P. 1–27.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 13.10.2022; одобрена после рецензирования: 02.11.2022; принята к публикации: 27.02.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 13.10.2022; approved after review: 02.11.2022; accepted for publication: 27.02.2023

*Информация об авторах:*

**Кубанов Ибрагим Наурузович**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [ibragim.kubanov@bk.ru](mailto:ibragim.kubanov@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4108-3135>

**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 Санкт-Петербургского ГУП «Горэлектротранс» (196105, Санкт-Петербург, Сызранская ул., д. 15), доктор технических наук, профессор, e-mail: [igps001@mail.ru](mailto:igps001@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4651-8526>

*Information about the authors:*

**Kubanov Ibragim N.**, adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave ., 149), e-mail: [ibragim.kubanov@bk.ru](mailto:ibragim.kubanov@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4108-3135>

**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: [igps001@mail.ru](mailto:igps001@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4651-8526>

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Научная статья

УДК 543.542; 543.064

## ОБНАРУЖЕНИЕ СЛЕДОВ СМЕШАННЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ПО СОСТАВУ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ НАД ОБЪЕКТОМ-НОСИТЕЛЕМ

✉ Яценко Лариса Анатольевна.

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

✉ [yazenko-la@mail.ru](mailto:yazenko-la@mail.ru)

*Аннотация.* Для идентификации компонентов смешанных растворителей (спиртов, сложных эфиров и ацетона) методом газожидкостной хроматографии определены их индексы удерживания при разделении сложных смесей на колонке марки ZB-50. Рассмотрены ошибки, приводящие к увеличению погрешности определения хроматографических параметров пика.

Изучено действие высоких температур и/или длительного испарения на воздухе на компонентный состав смешанных растворителей.

Показано, что обнаружение в газовых фазах над объектами бутанола-1 и/или бутилацетата является главным критерием диагностирования следов смешанных растворителей на объектах, изъятых с мест пожаров. Дополнительным критерием служит присутствие в газовой фазе наряду с кислородсодержащими соединениями ароматических углеводородов (аренов), таких как толуол и/или ксилолы.

Обнаружение в газовой фазе над объектом после термического воздействия и/или испарения только аренов указывает лишь на то, что сохранившиеся органические остатки могут принадлежать как к смешанным растворителям, так и к индивидуальным ароматическим углеводородам.

*Ключевые слова:* газожидкостная хроматография, газовая фаза над объектами, кислородсодержащие соединения, арены, индексы удерживания, температурное воздействие, испарение

**Для цитирования:** Яценко Л.А. Обнаружение следов смешанных растворителей методом газожидкостной хроматографии по составу газовой фазы над объектом-носителем // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 157–170.

Scientific article

## DETECTION OF TRACES OF MIXED SOLVENTS BY GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHY BY THE COMPOSITION OF THE GAS PHASE ABOVE THE CARRIER OBJECT

✉ Yatsenko Larisa A.

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

✉ yazenko-la@mail.ru

*Abstract.* To identify the components of mixed solvents (alcohols, esters and acetone) by gas-liquid chromatography, their retention indices were determined when separating complex mixtures on a ZB-50 column. The errors leading to an increase in the error of determining the chromatographic parameters of the peak are considered. The effect of high temperatures and/or prolonged evaporation in air on the component composition of mixed solvents, has been studied.

It is shown, that the detection of butanol-1 and/or butylacetate in the gas phases above the objects is the main criterion for diagnosing traces of mixed solvents, removed from the fire sites. An additional criterion is the presence in the gas phase along with oxygen-containing compounds of aromatic hydrocarbons (arenes) such as toluene and/or xylenes.

The detection of arenes in the gas phase above the object after thermal exposure and/or evaporation only indicates that the preserved organic residues may belong to both mixed solvents and individual aromatic hydrocarbons.

*Keywords:* gas-liquid chromatography, gas phase over objects, oxygen-containing compounds, arenes, retention indices, temperature exposure, evaporation

**For citation:** Yatsenko L.A. Detection of traces of mixed solvents by gas-liquid chromatography by the composition of the gas phase above the carrier object // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 157–170.

### Введение

Ранее было показано, что на долю пожаров с поджогами техническими жидкостями приходится более 10 % пожаров. При этом 8,3 % всех поджогов совершается с использованием технических жидкостей и растворителей [1, 2]. Поскольку в смешанных растворителях, как правило, присутствуют летучие (ЛОС) и малолетучие (МЛОС) органические соединения, после пожара в объектах-носителях остаются лишь следовые количества МЛОС [3, 4]. Однако обнаружение таких органических остатков в гексановых экстрактах из объектов, полученных с места пожара согласно методике [5], нецелесообразно из-за низкой чувствительности метода газожидкостной хроматографии (ГЖХ) при анализе жидких образцов в соответствии с ГОСТ Р 52406–2005 «Вода. Определение нефтепродуктов методом газовой хроматографии». Поэтому возникла необходимость в исследовании состава газовых фаз над объектами методом ГЖХ для выявления возможных критериев при диагностике следовых количеств смешанных растворителей после таких пожаров. Анализ воздуха над объектами с остатками смешанных растворителей после испарения и/или термического воздействия на них оказывается наиболее эффективным, так как предел обнаружения газообразных органических соединений, в частности аренов, в атмосферном воздухе более чем в 400 раз выше, чем минимальная допустимая концентрация жидкостей и/или экстрактов органических остатков согласно МУК 4.1.1046–01 «Газохроматографическое определение орто-, мета- и параксилолов в воздухе» и ГОСТ Р ИСО 16017-1–2007 «Воздух атмосферный, рабочей зоны и замкнутых помещений. Отбор проб летучих органических соединений при помощи сорбционной трубки с последующей термодесорбцией и газохроматографическим анализом на капиллярной колонке. Часть 1. Отбор проб методом прокачки».

## Методы и объекты исследования

Изучение состава смешанных растворителей методом ГЖХ осуществляли на хроматографе Кристалл 5000.2 фирмы «Хроматэк», укомплектованном капиллярной колонкой, пламенно-ионизационным детектором и приставкой-термодесорбером для ввода газообразных проб в испаритель хроматографа с предварительным концентрированием газовой пробы в промежуточной ловушке двухстадийного термодесорбера.

Для разделения смешанных растворителей на отдельные компоненты использовали колонку марки ZB-50 длиной 30 м, внутренним диаметром 0,25 мм, толщиной слоя неподвижной жидкой фазы (НЖФ) 0,25 мкм при давлении газа-носителя гелия марки А 100 кПа. Хроматографический анализ проводили при программировании температуры колонки от 40 °С до 280 °С со скоростью подъема температуры 4 °С в минуту с предварительной выдержкой начальной температуры колонки в течение 5 мин [5].

В качестве объектов исследования были выбраны наиболее распространенные в розничной торговле смешанные растворители:

– растворитель марки 647: производитель ОАО «Химик», ГОСТ 18188–72; ЗАО «Кетон», Нижегородская обл., г. Дзержинск, ТУ 2319-025-52474210–2010; ООО «Перспектива», Ленинградская обл., ГОСТ 18188–72.

– растворители Р-12, производитель ООО «Химик», Ленинградская обл., ГОСТ 7827–74 и 648, производитель «Нева-Реактив», ГОСТ 18-188–72.

Для приготовления газовых проб исследуемые составы смешанных растворителей в количестве 2 мкл наносили на фильтр, помещенный в полимерный пакет. Для получения образцов растворителей, подвергнутых горению, на 100 г объекта-носителя (грунта, древесины) помещали 5 мл растворителя и поджигали. Горение осуществляли в течение 5 мин до полного затухания. Отбор проб газовой фазы над растворителем до и после термического воздействия проводили на сорбент марки Терах ТА, помещенный в сорбционную трубку, с помощью насоса сильфонного типа.

## Результаты и их обсуждение

Поскольку абсолютные времена удерживания компонентов в газовой хроматографии зависят как от условий анализа, так и от природы неподвижной фазы, а также от геометрических параметров колонки (длины, внутреннего диаметра колонки и толщины НЖФ) использование их для идентификации нецелесообразно. В качестве идентификационного критерия для изотермических условий газохроматографического анализа следует использовать индекс Ковача [6]. В работах [7, 8] было показано, что в режиме программирования температуры колонки также можно получать воспроизводимые индексы удерживания. Однако данные по индексам удерживания кислородсодержащих соединений для НЖФ марки ZB-50 в литературе отсутствуют, поэтому для идентификации компонентов, входящих в состав смешанных растворителей, были определены их относительные параметры удерживания. При расчете индексов удерживания кислородсодержащих соединений и аренов использовали способ «внешней шкалы». По этому способу на хроматограммах смесей кислородсодержащих соединений и аренов отмечали в виде реперных точек времена удерживания пиков алканов, полученные из хроматограммы смеси алканов, снятой в идентичных условиях хроматографирования. Затем пики аренов и кислородсодержащих соединений обрабатывали в программе «Хроматэк Аналитик, версия 3.1» относительно времен удерживания, нанесенных на хроматограмму реперных точек алканов. Значения индексов удерживания кислородсодержащих соединений и аренов для НЖФ марки Z-50 представлены в табл. 1. Необходимо отметить, что на участке хроматограммы, полученной в изотермическом температурном режиме колонки, следует определять логарифмический индекс удерживания, расчет которого был предложен Ковачем [6]. При его расчете учитывается приведенное время выхода пика, которое равно разности абсолютного времени удерживания и мертвого времени (времени нахождения неударживаемого компонента в хроматографической колонке – метана).

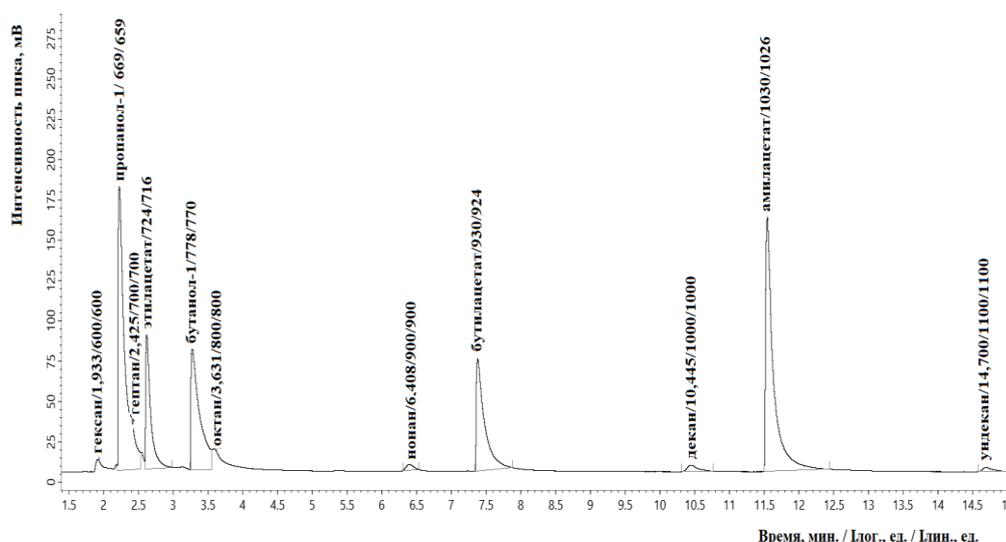
Для получения таким способом индексов удерживания, в частности кислородсодержащих соединений, дополнительно была снята хроматограмма смеси спиртов, сложных эфиров со следами смеси алканов C<sub>6</sub>–C<sub>11</sub>, по которой рассчитывались логарифмические индексы удерживания (рис. 1).

Таблица 1

**Индексы удерживания, рассчитанные для НЖФ марки ZB-50**

Компонент	Индекс удерживания, ед. ±5	
	Логарифмический *)	Линейный **)
Первичные спирты		
Метанол	508–516	
Этанол	550	540
Пропанол-1	669	660
Бутанол-1	778	770
Вторичные спирты		
Пропанол-2	590	585
Бутанол-2	705	702
Изобутанол	719	714
Сложные эфиры		
Этилацетат	724	716
Бутилацетат	930	924
Кетоны		
Ацетон	615–620	
Моноэтиловый эфир этиленгликоля		
Этилцеллозольв	850	840
Арены		
Толуол	873	865
П-ксилол	–	969
М-ксилол	–	972
О-ксилол	–	1005

Примечание: \*) – логарифмический индекс рассчитывается для соединений, элюирующихся в изотермической области анализа при 40 °С (от 0 до 5 мин); \*\*) – линейный индекс рассчитывается для соединений, элюирующихся в области программирования температур от 40 °С до 280 °С



**Рис. 1. Хроматограмма эталонной смеси спиртов и сложных эфиров со следами смеси алканов (C<sub>6</sub>–C<sub>11</sub>)**

На рис. 2 показана последовательность расположения пиков кислородсодержащих соединений и аренов относительно опорных пиков нормальных алканов на хроматограмме при хроматографировании на НЖФ марки ZB-50 [9].

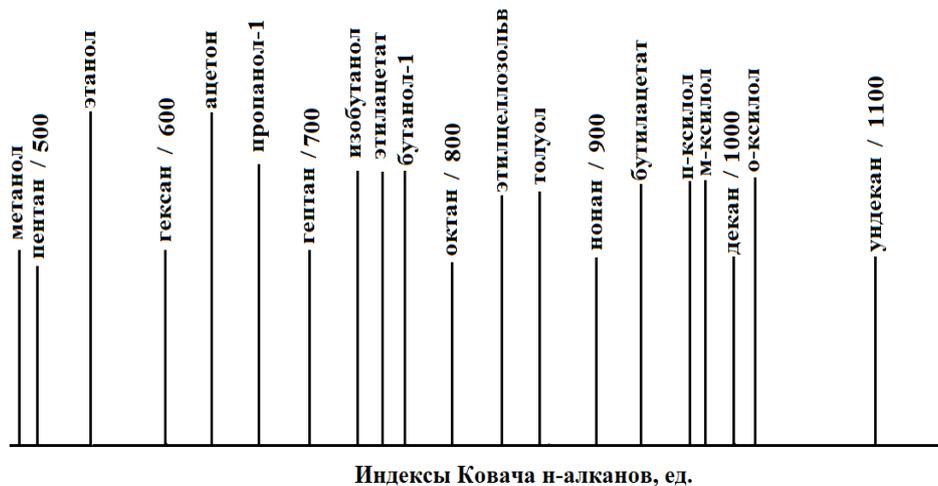


Рис. 2. Расположение пиков кислородсодержащих соединений и аренов на шкале индексов Ковача n-алканов

Индексы удерживания аренов были определены ранее в работе [9] при изменении температуры в колонки в процессе разделения смесей аренов.

Для уменьшения погрешности при определении относительных параметров удерживания (табл. 1) необходимо контролировать:

1. Концентрацию паров ЛОС в воздухе над объектом-носителем с помощью АНТ-3 для определения оптимального объема вводимой в испаритель газовой пробы и деления потока при ее анализе.

2. Температуру и скорость газового потока в процессе движения газовой пробы внутри колонки.

3. Длину колонки и количество неподвижной жидкой фазы внутри колонки в процессе ее эксплуатации путем корректировки времен удерживания пиков алканов.

В табл. 2 приведены компоненты смешанных растворителей и указаны их давления насыщенного пара, летучесть при температуре 25 °С, рассчитанная относительно диэтилового эфира, а также скорости испарения и выгорания [11–13].

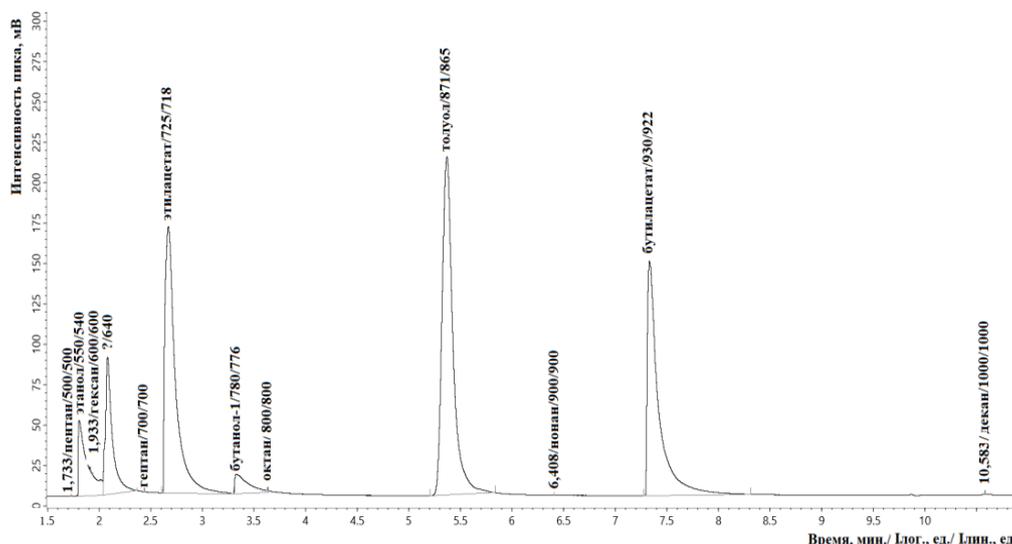
Из данных табл. 2 видно, что наименьшей летучестью и скоростью испарения из кислородсодержащих соединений обладают бутанол-1 и этилцеллозольв, давление насыщенных паров которых минимально. Что касается аренов, менее летучими являются ксилолы. Естественно, что при воздействии на смешанные растворители высоких температур, возникающих в очаге пожара, о-ксилол практически всегда должен сохраняться на поверхности объекта-носителя, а из кислородсодержащих соединений можно ожидать сохранения в газовой фазе над смешанным растворителем, прежде всего, бутанола-1. При малых количествах или отсутствии бутанола-1 в составе смешанного растворителя из кислородсодержащих соединений в газовой фазе может сохраниться этилцеллозольв и с меньшей вероятностью – бутилацетат.

На рис. 3–6 приведены хроматограммы газовых фаз над растворителем марки 647. В соответствии с ГОСТ 18188–72 растворитель 647 должен содержать: бутилацетат (29,8 %), этилацетат (21,2 %), бутанол-1 (7,7 %) и толуол (41,3 %). Анализ компонентного состава по данным ГЖХ показал, что основными компонентами растворителя 647 независимо от производителя и года выпуска действительно являются этилацетат и толуол. Бутилацетат был обнаружен в сравнимых с толуолом количествах только у производителя ОАО «Химик» выпуска 2014 г. (рис. 3).

**Давление насыщенного пара, относительная летучесть,  
скорости испарения и выгорания компонентов смешанных растворителей**

Компонент	Давление насыщенного пара, кПа (25 °С) [10, 11]	Относительная летучесть по диэтиловому эфиру	Скорость испарения относительно диметилового эфира [12]	Скорость выгорания, г/м <sup>2</sup> с [13]
Ацетон	24,6	2,4	5	59,6
Метанол	12,3	4,6	20	25,9
Этанол	5,9	10,0	20	37,0
Бутанол-1	0,67	91,0	110	45,5
Изобутанол	1,6	61,4	–	45,0
Этилацетат	9,7	6,1	10	70,0
Бутилацетат	1,0	36,3	30	52,0
Этилцеллозольв	0,53	114	–	–
Толуол	2,9	20,2	23	85
О-ксилол	от 0,67 до 0,87	93,9	45	88
М-ксилол		70,8		72,8
П-ксилол		67,7		–

У этого же производителя в выпуске 2021 г. бутилацетат вовсе отсутствовал и был заменен этилцеллозольвом (рис. 4). Обработка хроматограмм методом внутренней нормализации показала, что в составе растворителя 647 производителя ЗАО «Кетон», наряду с этилацетатом (12,0 %) и толуолом (31,0 %), присутствуют пропанол-2 (32,3 %) и ацетон (23,2 %), а количество бутилацетата от общего количества растворителя составляет лишь 1,5 % (рис. 5).



**Рис. 3. Хроматограмма газовой фазы над растворителем марки 647 на фильтре (производитель ОАО «Химик», Ленинградской обл., г. Луга, ГОСТ 18188–72, выпуск 2014 г., объем жидкой пробы 2 мкл, объем газовой пробы 100 см<sup>3</sup>, деление потока=1:200)**

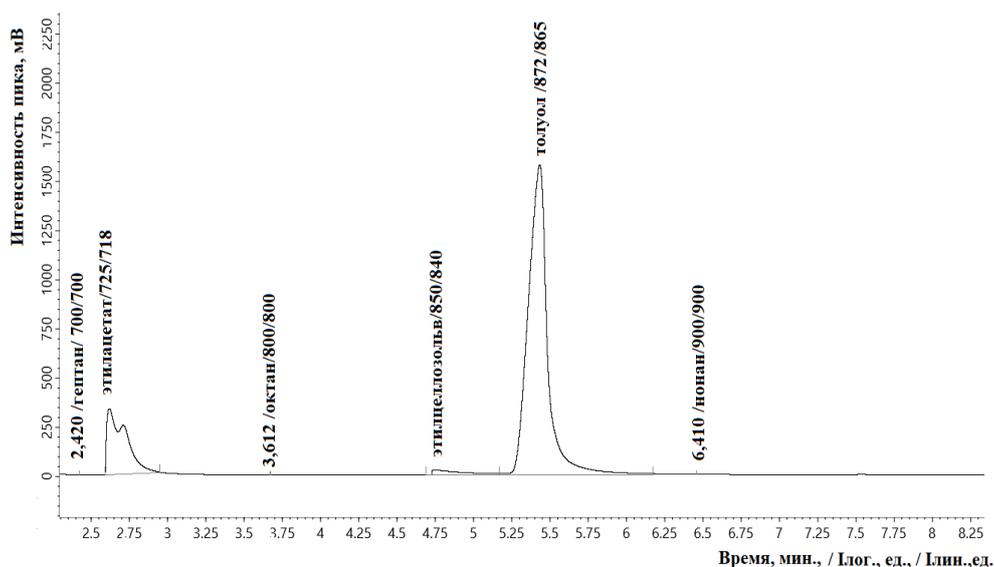


Рис. 4. Хроматограмма газовой фазы над растворителем марки 647 на фильтре (производитель ОАО «Химик», Ленинградская обл., г. Луга, ГОСТ 18188–72, выпуск 2021 г., объем жидкой пробы 2 мкл, объем газовой пробы 100 см<sup>3</sup>, деление потока=1:200)

В составе растворителя 647 производителя ООО «Перспектива» также как и у других производителей преобладает толуол (56,7 %).

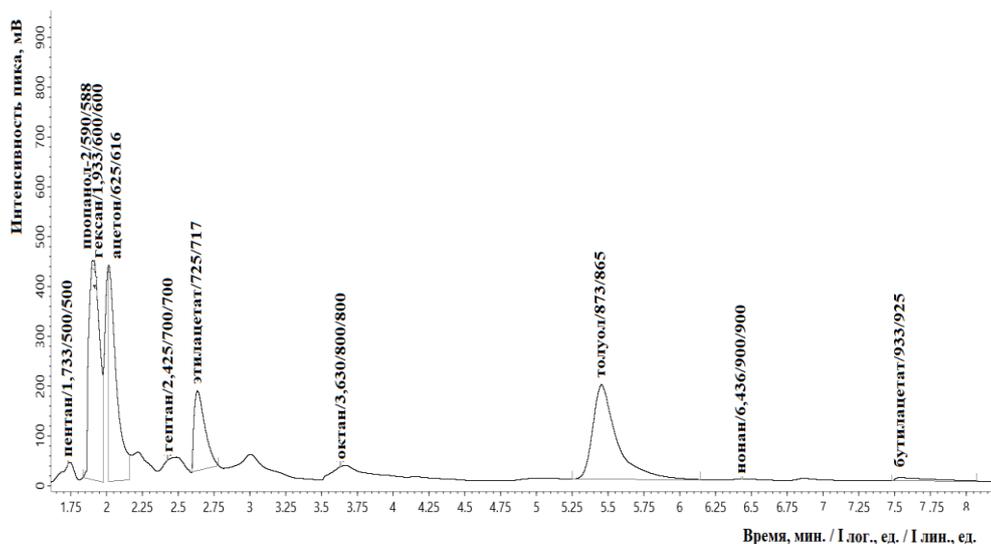
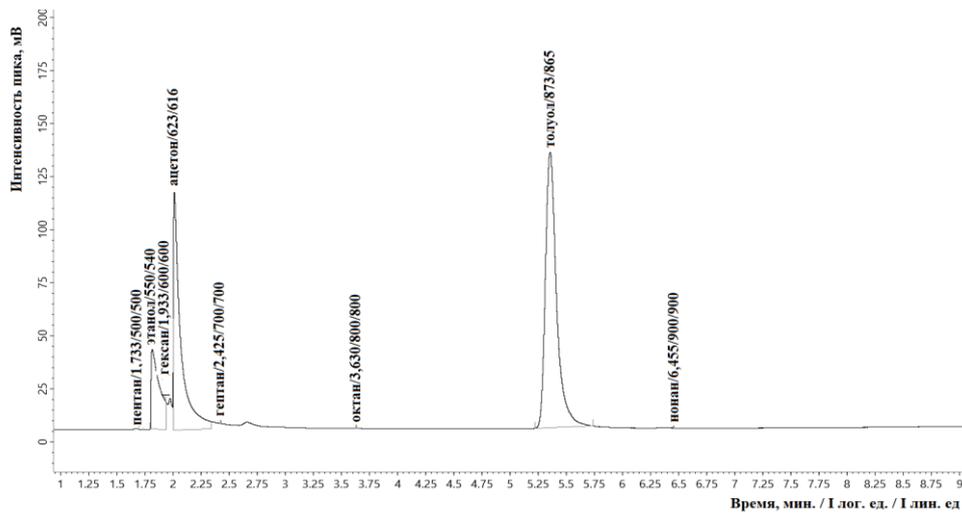


Рис. 5. Хроматограмма газовой фазы над растворителем марки 647 на фильтре (производитель ЗАО «Кетон», Нижегородская обл., г. Дзержинск, ТУ 2319-025-52474210-2010, объем жидкой пробы 2 мкл, объем газовой пробы 100 см<sup>3</sup>, деление потока=1:200)

Однако наряду с толуолом по данным ГЖХ в составе растворителя, также как и у производителя ЗАО «Кетон», обнаружены ацетон (31,0 %) и этанол (12,3 %), которые согласно ГОСТ 18188–72 «Растворители марок 645, 646, 647, 648 для лакокрасочных материалов» не должны находиться в составе этого растворителя (рис. 6).

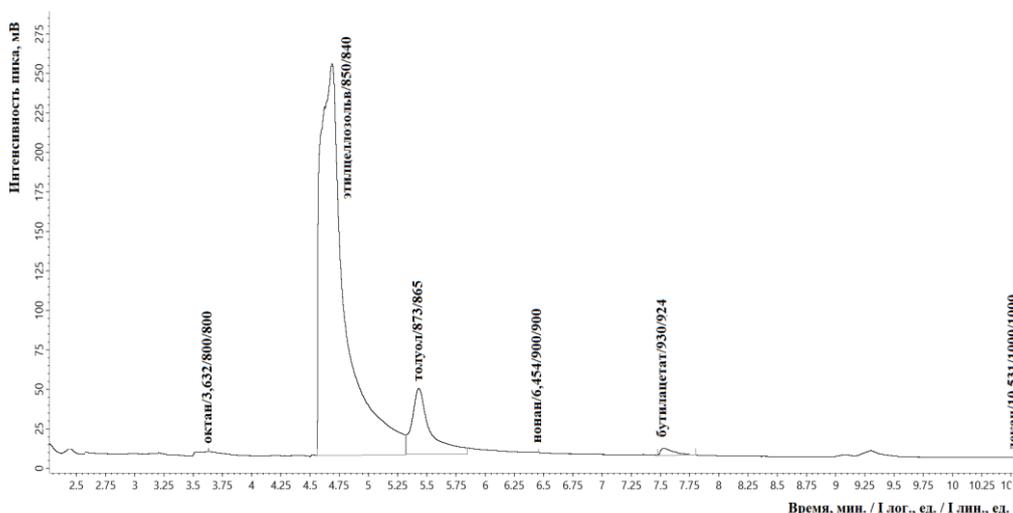


**Рис. 6. Хроматограмма газовой фазы над растворителем марки 647 на фильтре (производитель ООО «Перспектива», Ленинградская обл., ГОСТ 18188-72, объем жидкой пробы 2 мкл, объем газовой пробы 100 см<sup>3</sup>, деление потока=1:200)**

В результате термической обработки растворителя марки 647 производителя ОАО «Химик», выпуск 2021 г., в газовой фазе начинает преобладать этилцеллозоль, а также присутствует толуол, но в меньшем количестве, чем в исходном составе до горения, и следы бутилацетата (рис. 7). У этого же производителя выпуска 2014 г. сохраняется толуол и бутилацетат (рис. 8). В составах газовых фаз над выгоревшим растворителем марки 647 производителей ЗАО «Кетон» и ООО «Перспектива» сохраняется только толуол (рис. 9, 10).

На рис. 11, 12 приведены хроматограммы газовых фаз над растворителями марок Р-12 и 648 до воздействия на них высоких температур во время горения. Обработка этих хроматограмм показала, что в составе растворителя Р-12 присутствуют все компоненты, заявленные в ГОСТ 7827–74 «Растворители марок Р-4, Р-4А, Р-5, Р-5А, Р-12 для лакокрасочных материалов». При этом количество бутилацетата (18 %) почти в два раза меньше, содержание толуола (74 %) на 14 % больше, а содержание о-ксилола (8 %) практически соответствует.

В растворителе марки 648 отсутствует этанол, а содержание бутилацетата (46 %) и толуола (21 %) практически соответствует ГОСТ 18188–72. Отсутствие этанола компенсируется завышенным содержанием бутанола-1 (33 %) (рис. 12).



**Рис. 7. Хроматограмма газовой фазы над песком с выгоревшим растворителем 647 через сутки после выгорания (производитель ОАО «Химик», Ленинградская обл., г. Луга, ГОСТ 18188–72, выпуск 2021 г., объем газовой фазы 400 см<sup>3</sup>, деление потока=1:20)**

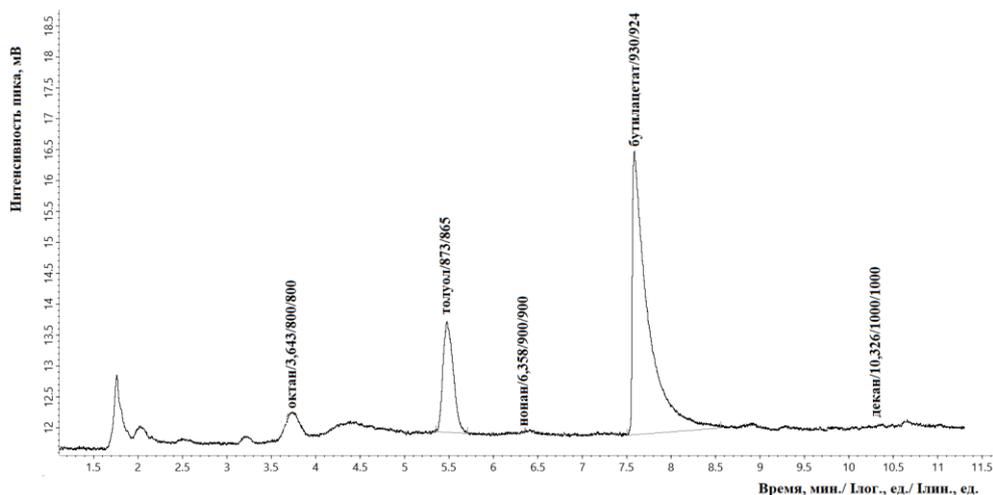


Рис. 8. Хроматограмма газовой фазы над песком с выгоревшим растворителем 647 через сутки после выгорания (производитель ОАО «Химик», Ленинградская обл., г. Луга, ГОСТ 18188–72, выпуск 2014 г., объем газовой фазы 1 000 см<sup>3</sup>, деление потока=1:20)

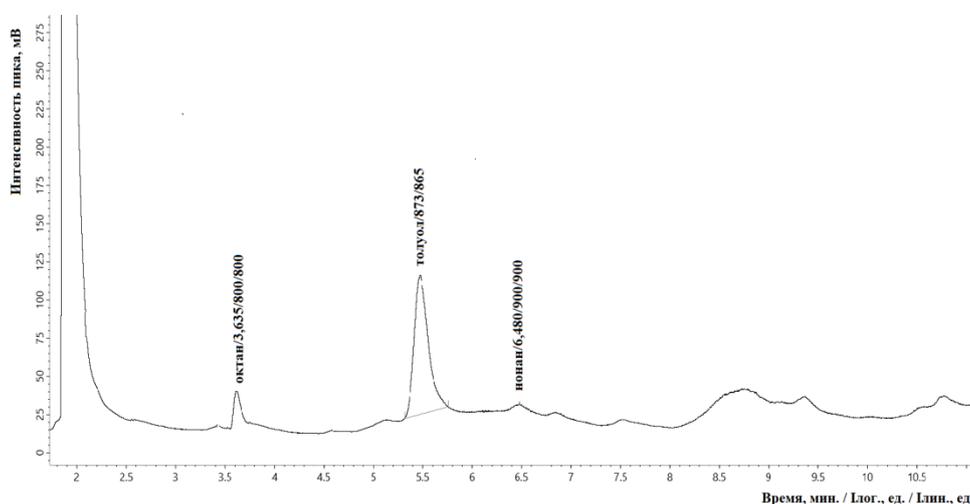


Рис. 9. Хроматограмма газовой фазы над песком с выгоревшим растворителем 647 через сутки после выгорания (производитель ЗАО «Кетон», Нижегородская обл., г. Дзержинск, объем газовой фазы 400 см<sup>3</sup>, деление потока=1:20)

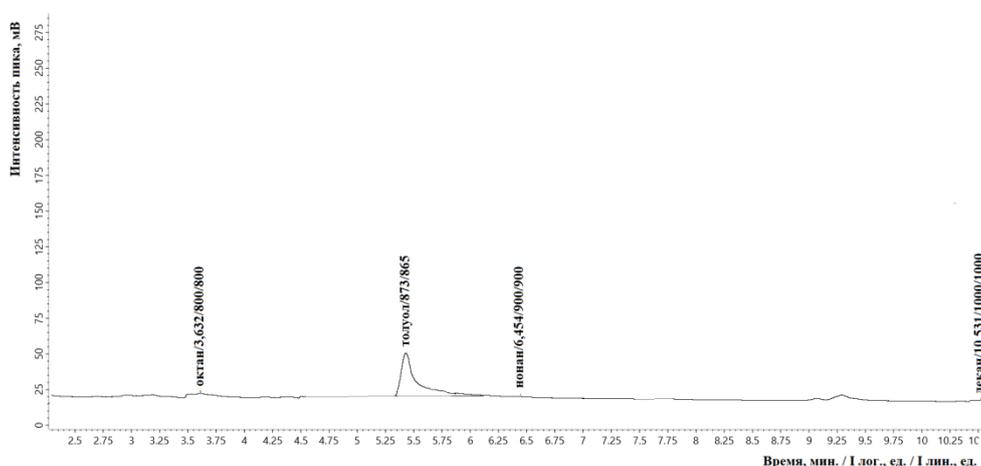


Рис. 10. Хроматограмма газовой фазы над песком с выгоревшим растворителем 647 через сутки после выгорания (производитель ООО «Перспектива», Ленинградская обл., ГОСТ 18188–72, объем газовой фазы 400 см<sup>3</sup>, деление потока=1:20)

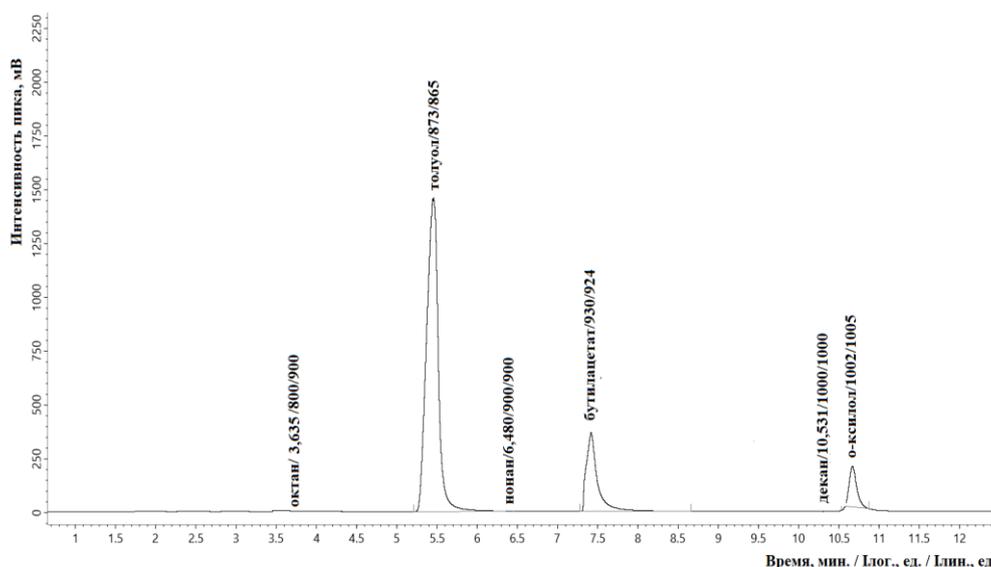


Рис. 11. Хроматограмма газовой фазы над растворителем Р-12 на фильтре, ГОСТ 7827–74 (производитель ООО «Химик», Ленинградская обл., объем жидкой пробы 2 мкл, объем газовой фазы 100 см<sup>3</sup>, деление потока=1:200)

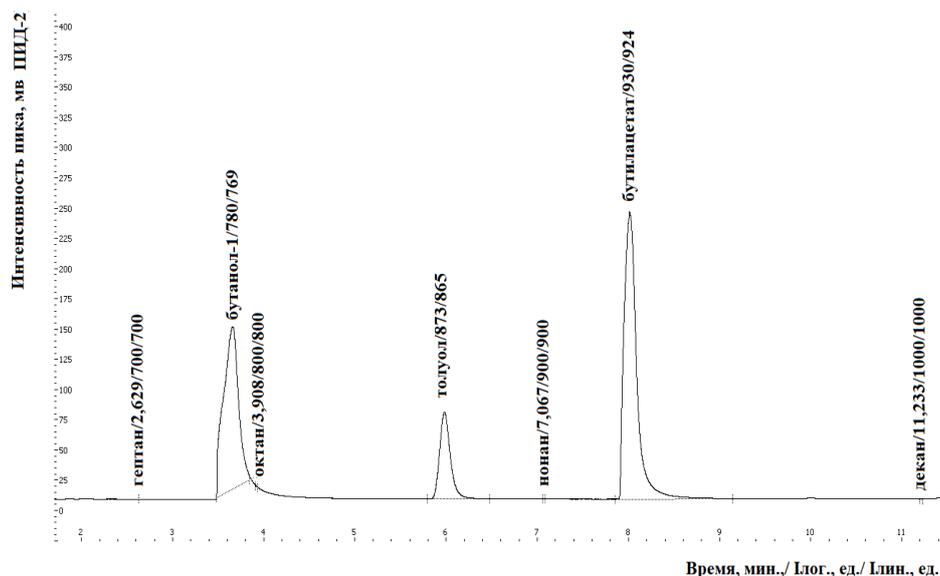


Рис. 12. Хроматограмма газовой фазы над растворителем 648 на фильтре, ГОСТ 18-188–72 (производитель Нева-Реактив, объем жидкой пробы 2 мкл, объем газовой фазы 100 см<sup>3</sup>, деление потока=1:200)

В результате выгорания с поверхности древесины и последующего испарения органических остатков на воздухе в течение 1 ч в газовой фазе над выгоревшим растворителем Р-12 сохраняется только 45,5 % толуола от исходного количества, а количество бутилацетата и о-ксилола возрастает по сравнению с растворителем, не подвергнутому термическому воздействию, в 1,6 и 3,1 раза соответственно (рис. 11, 13).

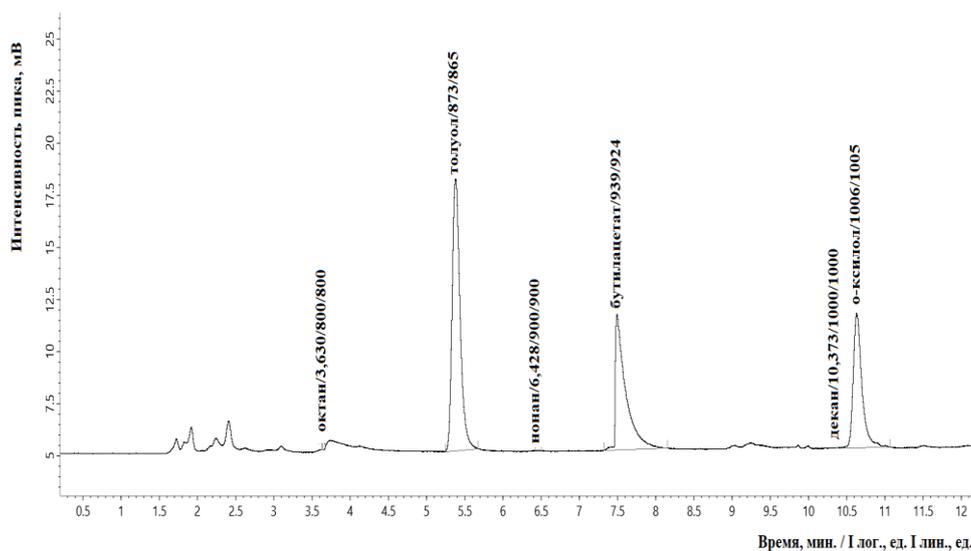


Рис. 13. Хроматограмма газовой фазы над растворителем Р-12 после его выгорания на 99 % с поверхности древесины и испарения на воздухе в течение 1 ч (производитель ООО «Химик», объем газовой фазы 1 000 см<sup>3</sup>, деление потока=1:20)

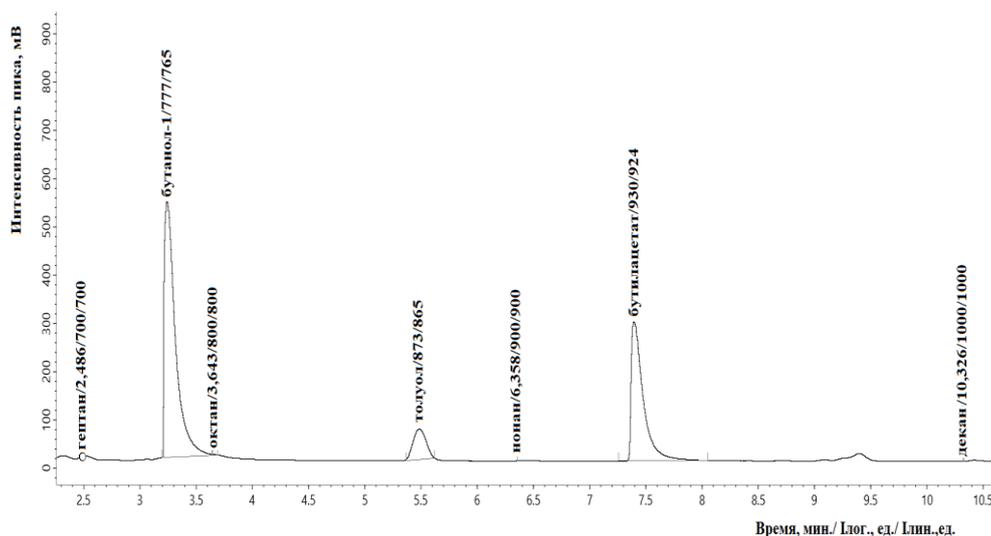


Рис. 14. Хроматограмма газовой фазы над выгоревшим с поверхности древесины растворителем 648 после 72 ч испарения на воздухе, ГОСТ 18-188–72 (производитель «Нева-Реактив», объем газовой фазы 1 000 см<sup>3</sup>, деление потока=1:20)

После выгорания растворителя 648 с поверхности древесины с последующим испарением органических остатков на воздухе после трех суток в газовой фазе над древесиной сохраняются все компоненты исходного, не подвергнутого горению растворителя, а именно: бутанол-1 (58 %), толуол (8,3 %) и бутилацетат (33,7 %) (рис. 14). Таким образом, состав газовых фаз над смешанными растворителями до и после их выгорания, как правило, меняется и зависит как от степени летучести компонентов, входящих в их состав, так и от их относительного содержания.

### Заключение

Исследование методом ГЖХ составов газовых фаз над смешанными растворителями до и после термического воздействия на них или в результате длительного испарения показало, что обнаружение в газовых фазах над объектами бутанола-1 и/или бутилацетата является

главным критерием диагностирования следов смешанных растворителей на объектах, изъятых с мест пожаров. Причем, чем больше относительное содержание кислородсодержащих соединений в составе смешанного растворителя до его термообработки, тем с большей вероятностью такие компоненты будут обнаруживаться в газовой фазе над растворителем после их выгорания на пожарах и/или при длительном испарении на воздухе.

Дополнительным критерием служит присутствие в газовой фазе наряду с кислородсодержащими соединениями ароматических углеводородов (аренов), таких как толуол и/или ксилолы.

Обнаружение в газовой фазе над объектом после термического воздействия и/или испарения только аренов указывает лишь на то, что сохранившиеся после пожара органические остатки могут принадлежать как к смешанным растворителям, так и к индивидуальным ароматическим углеводородам.

### Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. Балашиха: П 46 ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
2. Яценко Л.А., Чешко И.Д., Соловьев А.С. Мониторинг объектов, способов поджогов и методов установления причин пожаров судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России за период 2013–2014 гг. // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2016. № 3-4. С. 36–41.
3. Дринберг С.А., Ицко Э.Ф. Растворители для лакокрасочных материалов: справ. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1986. 208 с.
4. Никитин М.К., Мельникова Е.П. Химия в реставрации: справ. пособие. Л.: Химия, 1990. 304 с.
5. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: метод. пособие. М.: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны, 2010. 90 с.
6. Kovats E.S. Gas chromatographic characterization of organic substances in the retention index system // *Adv. Chromatogr.* 1965. Т. 1. С. 229.
7. Hayes Jr. P.C., Pitzer E.W. Characterizing petroleum- and shale-derived jet fuel distillates via temperature-programmed kovats indices // *J. Chromatogr. A.* 1982. Vol. 253. P. 179–198.
8. Johansen N.G., Ettore L.S., Miller R.L. Quantitative analysis of hydrocarbons by structural group type in gasolines and distillates: I. *Gas Chromatography* // *J. Chromatogr. A.* 1982. Vol. 256. P. 393–417.
9. Яценко Л.А., Воронцова А.А., Чешко И.Д. Идентификация нефтепродуктов и технических жидкостей методом газожидкостной хроматографии по индексам удерживания // *Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности.* 2017. № 1. С. 6–16.
10. Теплофизические свойства жидких веществ и растворов: справ. пособие к курсовому проектированию по процессам и аппаратам химической технологии / сост. Н.И. Савельев. Чебоксары, 2016.
11. ГОСТ ISO 16000-6-2016. Воздух замкнутых помещений. Часть 6. Определение летучих органических соединений в воздухе замкнутых помещений и испытательной камеры путем активного отбора проб на сорбент Tenax TA с последующей термической десорбцией и газохроматографическим анализом с использованием МСД/ПВД // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 08.11.2022).
12. ТД КРИСТАЛЛ. Химия высшей пробы. URL: <http://www.himmir.ru/catalog/catalog-productsii/solvent/solv200.html> (дата обращения: 22.07.2022).
13. Монахов В.Т. Показатели пожарной опасности веществ. Анализ и предсказание. Газы и жидкости. Справочные данные о пожарной опасности веществ и материалов. М., 2007.

**References**

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: stat. sb. Balashiha: P 46 FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.
2. Yacenko L.A., Cheshko I.D., Solov'ev A.S. Monitoring ob'ektov, sposobov podzhogov i metodov ustanovleniya prichin pozharov sudebno-ekspertnymi uchrezhdeniyami federal'noj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii za period 2013–2014 gg. // Nadzornaya deyatelnost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti. 2016. № 3-4. S. 36–41.
3. Drinberg S.A., Icko E.F. Rastvoriteli dlya lakokrasochnyh materialov: sprav. posobie. 2-e izd., pererab. i dop. L.: Himiya, 1986. 208 s.
4. Nikitin M.K., Mel'nikova E.P. Himiya v restavracii: sprav. posobie. L.: Himiya, 1990. 304 s.
5. Cheshko I.D., Princeva M.Yu., Yacenko L.A. Obnaruzhenie i ustanovlenie sostava legkovosplamenyayushchihsya i goryuchih zhidkostej pri podzhogah: metod. posobie. M.: Vserossijskij ordena «Znak Pocheta» nauchno-issledovatel'skij institut protivopozharnoj oborony, 2010. 90 s.
6. Kovats E.S. Gas chromatographic characterization of organic substances in the retention index system // Adv. Chromatogr. 1965. T. 1. S. 229.
7. Hayes Jr. P.C., Pitzer E.W. Characterizing petroleum- and shale-derived jet fuel distillates via temperature-programmed kovats indices // J. Chromatogr. A. 1982. Vol. 253. P. 179–198.
8. Johansen N.G., Ettre L.S., Miller R.L. Quantitative analysis of hydrocarbons by structural group type in gasolines and distillates: I. Gas Chromatography // J. Chromatogr. A. 1982. Vol. 256. P. 393–417.
9. Yacenko L.A., Voroncova A.A., Cheshko I.D. Identifikaciya nefteproduktov i tekhnicheskikh zhidkostej metodom gazozhidkostnoj hromatografii po indeksam uderzhivaniya // Nadzornaya deyatelnost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti. 2017. № 1. S. 6–16.
10. Teplofizicheskie svojstva zhidkih veshchestv i rastvorov: sprav. posobie k kursovomu proektirovaniyu po processam i apparatam himicheskoj tekhnologii / sost. N.I. Savel'ev. Cheboksary, 2016.
11. GOST ISO 16000-6-2016. Vozduh zamknutyh pomeshchenij. Chast' 6. Opreделение letuchih organicheskikh soedinenij v vozduhe zamknutyh pomeshchenij i ispytatel'noj kamery putem aktivnogo otbora prob na sorbent Tenax TA s posleduyushchej termicheskoj desorbciiej i gazohromatograficheskim analizom s ispol'zovaniem MSD/PID // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoi dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 08.11.2022).
12. TD KRISTALL. Himiya vysshej proby. URL: <http://www.himmir.ru/catalog/catalog-productsii/solvent/solv200.html> (data obrashcheniya: 22.07.2022).
13. Monahov V.T. Pokazateli pozharnoj opasnosti veshchestv. Analiz i predskazanie. Gazy i zhidkosti. Spravochnye dannye o pozharnoj opasnosti veshchestv i materialov. M., 2007.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 12.12.2022; одобрена после рецензирования: 18.01.2023;  
принята к публикации: 27.01.2023

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 12.12.2022; approved after review: 18.01.2023;  
accepted for publication: 27.01.2023

*Информация об авторах:*

**Яценко Лариса Анатольевна**, ведущий научный сотрудник отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров исследовательского центра экспертизы пожаров Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), кандидат химических наук, e-mail: [yazenko-la@mail.ru](mailto:yazenko-la@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1009-3525>, РИНЦ SPIN-код: 1377-0192, РИНЦ Author ID: 865237

*Information about the authors:*

**Yatsenko Larisa Anatolyevna**, leading researcher of the department of instrumental methods and technical means of fire examination at the research center for fire expertise of the Research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (193079, Saint-Petersburg, Oktyabrskaya emb., 35), candidate of chemical sciences, e-mail: [yazenko-la@mail.ru](mailto:yazenko-la@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1009-3525>, RSCI SPIN-code: 1377-0192, RSCI Author ID: 865237

Научная статья  
УДК 614.841.343:539.097

## **ПРИМЕНЕНИЕ «НАНОКОМПОЗИТНОГО ПОДХОДА» ПРИ СОЗДАНИИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ СОСТАВОВ**

✉ **Иванов Алексей Владимирович.**  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия  
✉ [ivanov.av@igps.ru](mailto:ivanov.av@igps.ru)

*Аннотация.* Обобщены результаты исследований эксплуатационных характеристик огнезащитных вспучивающихся составов для металлоконструкций. Рассмотрены параметры модифицирования и определено влияние термической стабильности углеродных наноструктур и диэлектрической проницаемости на огнезащитную эффективность составов для защиты стальных конструкций. Получены регрессионные зависимости огнезащитной эффективности составов от параметров наномодифицирования. Результаты исследований позволяют сделать вывод о возможности применения «нанокompозитного подхода», заключающегося в использовании в качестве модификаторов углеродных наноструктур и электрофизическом воздействии для обеспечения упорядоченности наночастиц, при формировании композита с заданными свойствами.

*Ключевые слова:* огнезащитная эффективность, астралены, углеродные нанотрубки, синхронный термический анализ, электрофизическое воздействие, нейросетевое моделирование, диэлектрическая проницаемость, адгезионная прочность

**Для цитирования:** Иванов А.В. Применение «нанокompозитного подхода» при создании огнезащитных вспучивающихся составов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 171–181.

Scientific article

## **«NANOCOMPOSITE APPROACH» IN THE CREATION OF FIRE-RETARDANT INTUMESCENT COMPOSITIONS**

✉ **Ivanov Aleksey V.**  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  
✉ [ivanov.av@igps.ru](mailto:ivanov.av@igps.ru)

*Abstract.* The results of studies of the operational characteristics of fire-retardant intumescent compositions for the protection of metal structures are summarized. Modification parameters are considered and the effect of thermal stability of carbon nanostructures and dielectric constant on the fire-retardant efficiency of compositions for the protection of steel structures is determined. The regression dependences of the flame retardant effectiveness of compositions on the parameters of nanomodification are obtained. The results of the research allow us to conclude that it is possible to use the «nanocomposite approach», which consists in using carbon nanostructures as modifiers and electrophysical action to ensure ordering of nanoparticles during the formation of a composite with desired properties.

*Keywords:* fire retardant efficiency, astralenes, carbon nanotubes, synchronous thermal analysis, electrophysical action, neural network modeling, dielectric constant, adhesive strength

**For citation:** Ivanov A.V. «Nanocomposite approach» in the creation of fire-retardant intumescent compositions // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 171–181.

## Введение

Теоретические основы совершенствования рецептур огнезащитных вспучивающихся составов (ОВС), заложенные во второй половине XX в. [1], были успешно развиты российскими и зарубежными учеными, что привело к созданию широкого спектра интумесцентных покрытий [2]. Огнезащитная эффективность ОВС зависит не только от термической стабильности его компонентов, но также от адгезионной прочности покрытия, скорости образования защитного слоя пенококса и других факторов, имеющих решающее значение при горении углеводородов [3, 4].

Основным направлением повышения эксплуатационных характеристик ОВС является применение различных добавок и наполнителей, обеспечивающих повышенные качественные характеристики материала. При всех преимуществах данного подхода отмечается достижение «технологического предела» в создании более совершенных средств огнезащиты, характеризующееся необходимостью поиска компонентов для снижения температуры начала вспучивания и подбора оптимального соотношения концентраций антипиренов, стабилизаторов и армирующих компонентов [5]. С начала XXI в. при разработке рецептур ОВС был предложен так называемый «нанокompозитный подход», предлагающий использование в качестве модификаторов органических и неорганических частиц с малыми размерами (50–1 000 нм) и высокой удельной поверхностью (100–2 000 г/м<sup>2</sup>), способных при определенных концентрациях создавать упорядоченные и самоорганизующиеся структуры [6]. Разработки технологий наномодифицирования активно проводятся за рубежом, в частности в США, Западной Европе и других странах [7–9], что позволяет выводить на рынок лакокрасочные материалы, имеющие значительно улучшенные эксплуатационные характеристики.

В Российской Федерации также ведутся научные изыскания в данном направлении [10–13], однако до настоящего времени широкого внедрения результатов исследований не наблюдается. Это связано не только с увеличением стоимости продукции [14], но и проблемой получения монодисперсий наночастиц и обеспечения их стабильности [15] на стадиях производства и применения ОВС. В современных условиях задача повышения огнезащитной эффективности интумесцентных составов российского производства является весьма актуальной и отвечает задачам технологического суверенитета отечественной промышленности [16].

Целью настоящего исследования было обоснование необходимых параметров наномодифицирования для повышения огнезащитной эффективности ОВС в условиях применения «нанокompозитного подхода».

## Материалы и методы исследования

В качестве базовых материалов использовались огнезащитные составы «Термобарьер» производства НПК «Огнехимзащита» (Санкт-Петербург). Огнезащитные составы модифицировались путем диспергирования в течение 10–60 мин углеродных наноструктур (УНС) в растворителе (о-ксилол): многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT), полученных на установке «CVDomna» (производство компании «NT-MDT», г. Зеленоград) в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России, и тороидальных наночастиц – астраленов (Astr) [17], предоставленных НТЦ «Прикладные нанотехнологии» (Санкт-Петербург). Технология подготовки и нанесения ОВС изложена в работе [12]. Для ряда образцов, с целью упорядочивания наноструктур, нанесение составов и формирование композита проводилось в электрическом поле напряженностью  $3 \times 10^3$  В/м и частотой 50 Гц (электрофизическое воздействие (ЭФ)). Перечень образцов, используемых в исследовании, представлен в табл. 1.

**Наименование образцов ОВС и условия наномодифицирования**

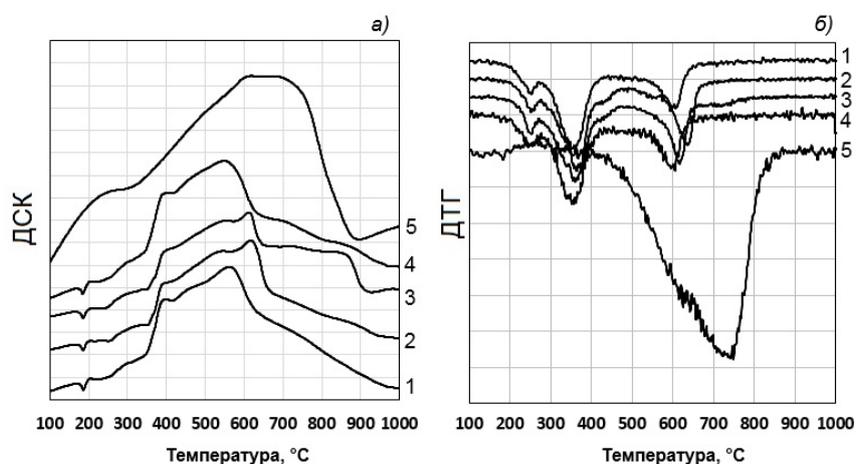
№ образца	Наименование образца	Тип УНС	Концентрация в УНС, об. %	Примечание
1	ТБ	–	0	без ЭФ / при ЭФ-воздействии
2	ТБ_MWCNT0,1	MWCNT	0,1	без ЭФ / при ЭФ-воздействии
3	ТБ_MWCNT0,5	MWCNT	0,5	без ЭФ / при ЭФ-воздействии
4	ТБ_MWCNT0,75	MWCNT	0,75	без ЭФ / при ЭФ-воздействии
5	MWCNT	MWCNT	–	чистый наноматериал
6	ТБ_Astr0,1	Astr	0,1	без ЭФ / при ЭФ-воздействии
7	ТБ_Astr0,5	Astr	0,5	без ЭФ / при ЭФ-воздействии
8	ТБ_Astr0,75	Astr	0,75	без ЭФ / при ЭФ-воздействии
9	Astr	Astr	–	чистый наноматериал

Термическая стабильность УНС и наномодифицированных ОВС исследовалась методом синхронного термического анализа (СТА) на установке «NETZSCH STA 449 F3 Jupiter» (производитель: компания «NETZSCH», Германия), максимальная температура: 1 000 °С, скорость нагрева 10 К/мин, среда – воздух) [8]. Исследовалось влияние параметров наномодифицирования на адгезионную прочность, диэлектрическую проницаемость (ДП) и время наступления предельного состояния металла, защищенного ОВС, в условиях факельного горения углеводородов [12].

**Результаты исследований***Термическая стабильность наноструктур и образцов наномодифицированных ОВС*

Кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК-кривые) дифференциальной термогравиметрии (ДТГ-кривые) для образцов УНС и огнезащитных составов, модифицированных углеродными нанотрубками и астраленами, представлены на рис. 1, 2.

Образец MWCNT характеризуется увеличением массы на 1,5–2,0 % в сравнении с исходной в интервале температур 200–310 °С. При температуре около 400 °С наблюдалась интенсивная потеря массы с хорошо выраженным экзотермическим пиком, соответствующим температуре 750 °С. Потеря массы MWCNT происходила до температуры 870 °С, при этом при 1 000 °С остаточная масса образца составила 19,1 %. Образец Astr оставался термически стабильным до 520 °С, после чего наблюдалась интенсивная потеря массы, при этом при температуре 1 000 °С потеря массы продолжалась и на момент окончания измерений составляла 32,5 % от начальной.



**Рис. 1. ДСК-кривые (а) и ДТГ-кривые (б) образцов ОВС, модифицированных углеродными нанотрубками**

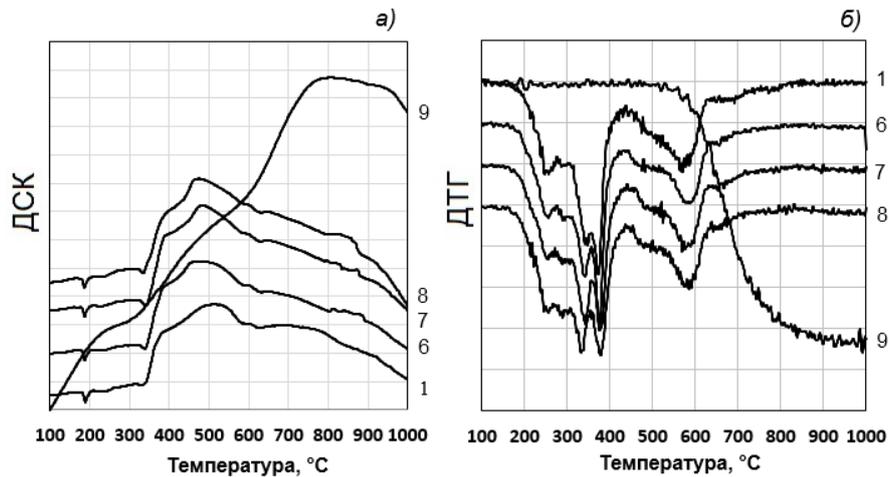


Рис. 2. ДСК-кривые (а) и ДТГ-кривые (б) образцов ОВС, модифицированных астраленами

Анализ ТГ-кривых выявил три этапа изменения массы образцов ОВС в интервале температур 180–260 °С, 280–380 °С, 450–1 000 °С. Сводные данные по результатам термического анализа ОВС приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Сводные данные термического анализа образцов ОВС**

Наименование образца	180–260 °С		280–380 °С		450–800 °С			30 <sup>1000</sup> , %
	Δm, %	T <sub>ДСК</sub> , °С	Δm, %	T <sub>ДСК</sub> , °С	Δm, %	T <sub>ДСК</sub> , °С	Δс <sub>р</sub> , Дж/(г·К)	
ТБ	-8,7	255,6	-30,2	372,4	-30,3	569,6	12,7	19,1
ТБ_MWCNT0,1	-6,3	252,2	-34,4	363,5	-32,4	635,8	35,3	13,9
ТБ_MWCNT0,5	-6,7	252,8	-33,9	360,6	-32,7	618,6	25,8	14,0
ТБ_MWCNT0,75	-7,1	242,7	-34,8	351,8	-29,6	605,3	45,4	16,8
ТБ_Astr0,1	-9,5	255,7	-30,2	375,3	-29,2	582,2	36,1	18,4
ТБ_Astr0,5	-9,8	254,1	-30,2	374,8	-30,2	569,2	38,1	16,4
ТБ_Astr0,75	-5,7	254,6	-29,4	378,5	-29,4	587,4	49,3	15,7

В диапазоне температур 180–200 °С наблюдаются схожие для всех образцов эндотермические эффекты. Потеря массы модифицированных образцов ОВС в данном интервале температур снижается (до 2 %) с увеличением концентрации УНС.

В диапазоне температур 280–380 °С происходит смещение экзотермических пиков в сторону меньших температур для ОВС, модифицированных MWCNT (до 21 °С), и остается практически неизменным при использовании Astr в качестве модификатора. Потеря массы модифицированных ОВС увеличивается до 4,6 % и незначительно снижается (на 0,8 %) как при использовании MWCNT, так и Astr.

В диапазоне температур 450–800 °С потеря массы модифицированных образцов ОВС остается практически неизменной в сравнении с базовым составом. Для ОВС с MWCNT при концентрации 0,1 об.% происходит максимальное смещение экзотермического пика в сторону больших значений на 66 °С в сравнении с базовым составом. Для ОВС с Astr аналогичное смещение экзотермического пика составило не более 18 °С.

*Адгезионная прочность модифицированных ОВС*

Данные об адгезионной прочности ОВС представлены на рис. 3. Установлено, что применение УНС, как правило, увеличивает адгезионную прочность покрытий на 19 ... 63 % при концентрации наночастиц 0,1 об.% и 0,5 об.%. При увеличении концентрации наночастиц до 0,75 об.% адгезионная прочность покрытий снижается на 10–25 %.

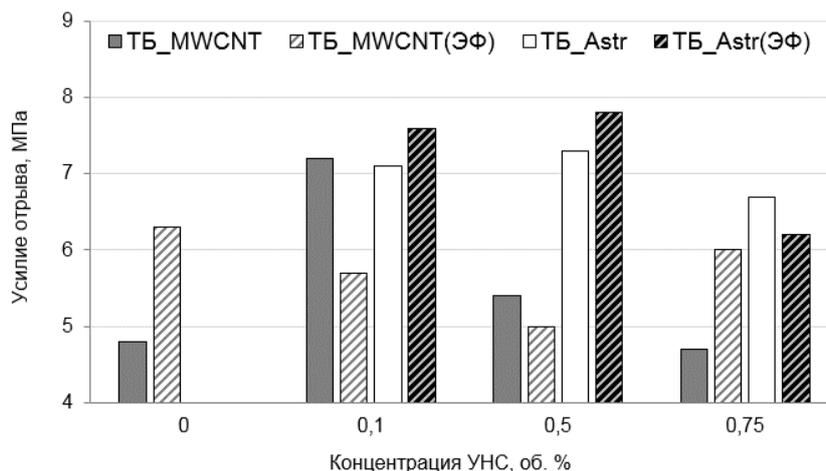


Рис. 3. Адгезионная прочность ОВС, модифицированных УНС

Применение ЭФ воздействия дополнительно увеличивает адгезионную прочность покрытий на 5–18 % при использовании Astr и снижает на 10–23 % при использовании MWCNT.

#### *Диэлектрическая проницаемость модифицированных ОВС*

Относительное изменение диэлектрической проницаемости модифицированных ОВС  $k_m$  определялось по формуле:

$$k_m = \varepsilon_m / \varepsilon_0,$$

где  $\varepsilon_m$ ,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость модифицированного и немодифицированного составов соответственно. Данные об изменении диэлектрической проницаемости наномодифицированных составов приведены на рис. 4.

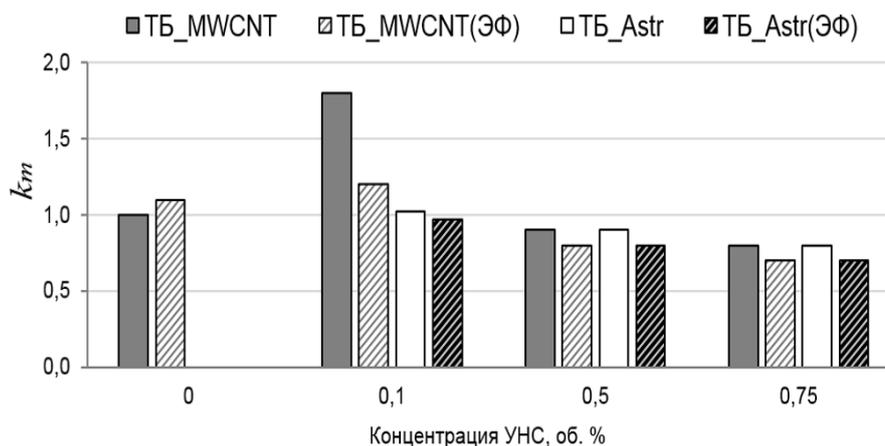


Рис. 4. Относительное изменение диэлектрической проницаемости ОВС, модифицированных УНС

В ходе исследований выявлено, что при концентрации MWCNT и Astr 0,1 об.% происходит увеличение ДП. Увеличение концентрации УНС до 0,5 об.% и 0,75 об.% ведет к снижению ДП. В условиях ЭФ воздействия происходит дополнительное снижение ДП образцов ОВС, модифицированных углеродными наночастицами.

*Огнезащитная эффективность модифицированных ОВС*

Данные о времени наступления предельного состояния металла в условиях огнезащиты модифицированными ОВС приведены на рис. 5.

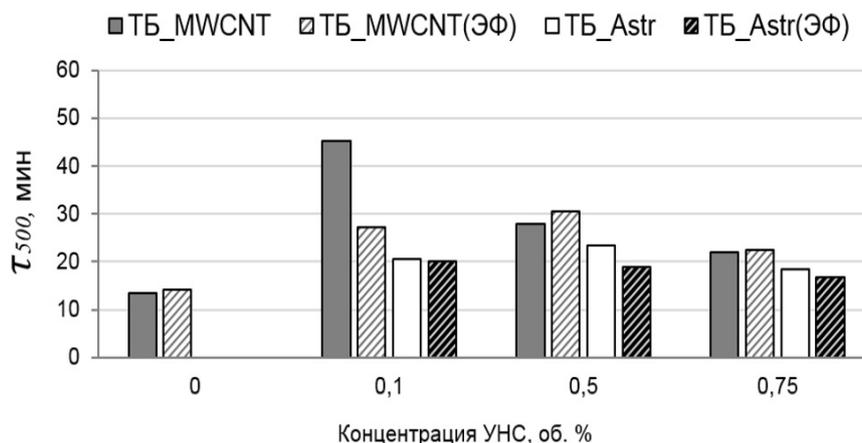


Рис. 5. Время достижения предельной температуры металлической подложки с ОВС, модифицированных УНС

Результаты исследования свидетельствуют об улучшении данной характеристики для всех образцов, модифицированных наноструктурами. При использовании MWCNT 0,1 об.% время огнезащитного действия увеличилось в 3,3 раза, а при использовании Astr 0,5 об.% – в 1,7 раза в сравнении с немодифицированными ОВС. В условиях ЭФ воздействия происходило незначительное увеличение времени огнезащитного действия для ОВС, модифицированных MWCNT (до 10 %, при концентрации 0,5 об.% и 0,75 об.%), и снижение до 23 % – при модифицировании Astr.

### Обсуждение результатов

Данные термического анализа образцов УНС свидетельствуют о том, что астралены обладают большей термической стойкостью в сравнении с исследуемыми углеродными нанотрубками, демонстрируя начало интенсивной потери массы при 534 °С, что на 110 °С больше, чем MWCNT.

Пики ДТГ-термограмм ОВС соответствуют температурным диапазонам стадий огнезащитного действия вспучивающихся покрытий – термоокислительной деструкцией пленкообразователя, синтезом и термической деструкции пенококка [18]. Эндотермические пики для образцов ОВС при 180–200 °С весьма схожи, что свидетельствует об отсутствии заметного влияния УНС на процессы термической деструкции пленкообразователя и дегидратации пентаэритрита. Смещение экзотермических пиков в диапазоне температур 280–380 °С к меньшим значениям для ОВС с MWCNT связано с более ранним началом образования каркасной структуры пенококка, в то время как для ОВС с Astr данный процесс остается практически неизменным.

Смещение экзотермических пиков в диапазоне температур 450–800 °С в сторону больших значений для образцов ОВС с MWCNT 0,1–0,75 об.% свидетельствуют о большей термической стойкости пенококка и его более медленном выгорании. Для ОВС с Astr 0,1–0,75 об.% значительного смещения экзотермических пиков в данном температурном интервале не наблюдалось.

Увеличение адгезионной прочности покрытий с наномодифицированными ОВС происходит за счет усиления ван-дер-ваальсовых взаимодействий и упорядоченности наноструктур на границе «полимер-металл» [19, 20], объемному структурированию за счет

электромагнитных взаимодействий возле наночастиц [10], обеспечивающее «эффект наноармирования» [11].

Изменение ДП покрытий при варьировании концентрации УНС, очевидно, связано с увеличением электропроводности нанокompозитов, характерному для материалов, модифицированных углеродными наночастицами с высокой степенью упорядоченности в структуре материала, что возможно в условиях ЭФ воздействия, обеспечивающего выстраивание отдельных наночастиц вдоль силовых линий электрического поля [21].

Для оценки вклада факторов, определяющих огнезащитную эффективность наномодифицированных ОВС, использовался метод нейросетевого моделирования в программном продукте «STATISTICA» [13]. В качестве входных параметров использовались: относительное изменение диэлектрической проницаемости ОВС  $k_m$  (X1), значение экзотермического пика  $T_{дск}$  (X2), относительное изменение теплоемкости ОВС  $\Delta c_p$  (X3), зольный остаток при 1 000 °С (X4), адгезионная прочность покрытия (X5), коэффициент вспучивания (X6). В качестве независимой переменной использовалось время наступления предельного состояния металла (Y). Характеристика нейронной сети (НС): многослойный персептрон, скрытых нейронов: 3 ... 25, количество обучающихся сетей: 50 тыс. Было получено 3 НС, из которых выбрана одна, «22. MLP 5-4-1», имеющая минимальные ошибку обучения и тестовую ошибку (табл. 3).

Таблица 3. Характеристики полученных НС

№ п.п.	Название сети	Ошибка обучения	Тестовая ошибка	Ошибка проверки	Алгоритм обучения
22	MLP 5-4-1	0,853134	0,008772	1,54978	BFGS 22
81	MLP 5-22-1	0,808377	0,011567	38,94972	BFGS 47
63	MLP 5-5-1	0,597090	0,087471	1,25546	BFGS 65

Анализ «вклада» переменных X1–X6 в полученной НС показывает важность переменных X1 (изменение ДП), X2 (характеристика термической стойкости) и X5 (адгезионная прочность) (рис. 6 а), что в целом соответствует результатам НС-моделирования по результатам исследований характеристик ОВС на основе эпоксидных смол, модифицированных астраленами [13].

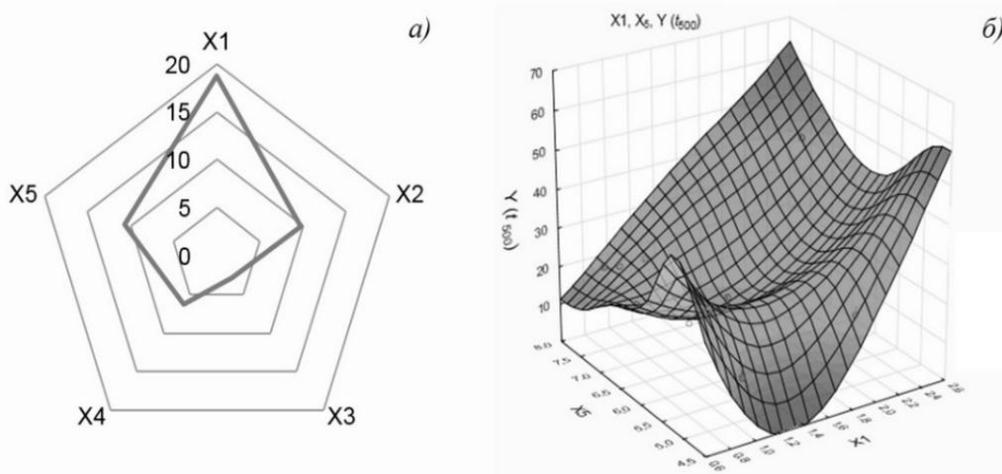


Рис. 6. Зависимость времени огнезащитного действия (Y) от диэлектрической проницаемости (X2) и адгезионной прочности (X6) ОВС

Полученная НС позволяет прогнозировать время огнезащитного действия модифицированных покрытий, полученных с использованием «нанокompозитного подхода», основываясь на результатах измерений адгезионной прочности и значений ДП и обеспечивающих оптимальное количество модифицирующих добавок в ОВС (рис. 6 б).

Результаты эмпирических исследований и результаты нейросетевого моделирования с помощью программы REGRAN [22] позволили получить регрессионные уравнения зависимости огнезащитной эффективности ОВС от параметров наномодифицирования:

$$y = 39,74z_1 + 0,7016z_2 - 48,97z_3,$$

где

$$z_1 = \frac{\sqrt{x_2 x_4}}{x_5^2};$$

$$z_2 = \frac{x_3^2}{x_2^2 (x_4 x_5)^{1,5}};$$

$$z_3 = \frac{x_3^{1,5} x_4^2}{(x_2 x_5)^{1,5}}.$$

Полученные зависимости могут быть использованы при разработке системы прогнозирования характеристик наномодифицированных материалов для обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса [23].

### Заключение

Существующие подходы повышения огнезащитной эффективности ОВС базируются на разработке рецептур с применением различных модификаторов, в том числе и наноструктур, которые позволяют повысить качественные характеристики продукции за счет улучшения свойств пенококса, замедляющего тепло- и массоперенос между газовой и конденсированной фазами.

Повышение эксплуатационных характеристик ОВС возможно при внедрении в базовые составы УНС с различными аллотропными формами углерода. При этом огнезащитная эффективность составов предсказуемо зависит от термической стабильности пенококса, адгезионной прочности покрытия, коэффициента вспучивания и других параметров.

Результаты настоящего исследования показали, что, помимо уже известных параметров, важную роль в огнезащитной эффективности ОВС играет самоорганизация и упорядоченность наноструктур в огнезащитном покрытии, обеспечивающее «эффект наноармирования» и влияющее на электрофизические характеристики нанокompозита.

Таким образом, для создания отечественных технологий получения ОВС с повышенными эксплуатационными характеристиками на основе «нанокompозитного подхода» должны быть использованы способы внедрения наночастиц в базовые составы, обеспечивающие самоорганизацию наноструктур и их стабильность при формировании огнезащитного покрытия. Данные параметры необходимо обеспечивать на стадии нанесения и формирования слоев ОВС путем контроля ЭФ характеристик покрытий в сочетании со стандартными методами испытаний.

### Список источников

1. Vandersall H.L. Intumescent coating systems, their development and chemistry // Journal of fire and flammability. 1971. Vol. 2. P. 97–140.

2. Крутолапов А.С., Коробейникова Е.Г. Анализ отечественных патентов на изобретения (1994–2016 гг.) в области создания огнезащитных покрытий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 3. С. 31–38.
3. Оценка термостойкости огнезащитных составов интумесцентного типа для объектов нефтегазового комплекса / Е.В. Головина [и др.] // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 6. С. 100–106.
4. Абрамов И.В., Гравит М.В., Гумерова Э.И. Повышение пределов огнестойкости судовых и строительных конструкций при углеводородном температурном режиме // Газовая промышленность. 2018. № 5 (768). С. 108–117.
5. Пути совершенствования огнезащитных терморасширяющихся составов для использования на объектах нефтегазового комплекса / О.В. Беззапонная [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 12. С. 14–24.
6. Recent advances for intumescent polymers / S. Bourbigot [et al.] // Macromolecular materials and engineering. 2004. Vol. 289. № 6. P. 499–511.
7. Morgan A.B., Wilkie C.A. Flame retardant polymer nanocomposites // John Wiley & Sons. 2007. 422 p.
8. Puri R.G., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress // Journal of coatings technology and research. 2017. Vol. 14. № 1. P. 1–20.
9. Purification and functionalisation of multi-walled carbon nanotubes / K. Domagała [et al.] // Materials letters. 2019. Vol. 253. P. 272–275.
10. Ахметшина Л.Ф., Лебедева Г.А., Кодолов В.И. Функционализация металл/углеродных нанокомпозитов фосфатами аммония для улучшения свойств вспучивающихся огнезащитных покрытий // Химическая физика и мезоскопия. 2011. Т. 13. № 4. С. 501–510.
11. Зыбина О.А., Бабкин О.Э., Снегирев А.Ю. Каталитическое действие углеродных нанодобавок на термолит интумесцентных лакокрасочных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 2018. № 6. С. 35–40.
12. Исследование эксплуатационных характеристик наномодифицированных огнезащитных вспучивающихся композиций в условиях углеводородного пожара на объектах транспортировки нефтепродуктов / А.В. Иванов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 10. С. 5–19.
13. Исследование эксплуатационных характеристик огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол, модифицированных астраленами / А.В. Иванов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 1. С. 55–68.
14. Еремина Т.Ю., Гравит М.В., Дмитриева Ю.Н. Особенности и принципы построения рецептур огнезащитных вспучивающихся композиций на основе эпоксидных смол // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 7. С. 52–56.
15. Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic–inorganic nanocomposites – A review / S. Kango [et al.] // Progress in polymer science. 2013. Vol. 38. № 8. P. 1232–1261.
16. Шкодинский С.В., Кушнир А.М., Продченко И.А. Влияние санкций на технологический суверенитет России // Проблемы рыночной экономики. 2022. № 2. С. 75–96.
17. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles / A.I. Shames [et al.] // Diamond and related materials. 2009. Vol. 18. № 2-3. P. 505–510.
18. Ненахов С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония (обзор литературы) // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 8. С. 11–58.
19. Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: an overview on thermal decomposition of polycondensation polymers // Thermochemica acta. 2011. Vol. 523. № 1-2. P. 25–45.
20. Фуллероидные наноматериалы – активные структурные модификаторы полимеров и полимерных композитов / Г.М. Гуняев [и др.] // Пластические массы. 2003. № 10. С. 18–21.

21. Kugler S., Kowalczyk K., Spychaj T. Influence of dielectric nanoparticles addition on electroconductivity and other properties of carbon nanotubes-based acrylic coatings // *Progress in organic coatings*. 2016. Vol. 92. P. 66–72.

22. Таранцев А.А. Принципы построения регрессионных моделей при исходных данных с нечетким описанием // *Автоматика и телемеханика*. 1997. № 11. С. 215–219.

23. Иванов А.В. Система прогнозирования эксплуатационных характеристик наномодифицированных огнетушащих и защитных составов // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2022. Т. 11. № 4 (60). С. 185–192.

## References

1. Vandersall H.L. Intumescent coating systems, their development and chemistry // *Journal of fire and flammability*. 1971. Vol. 2. P. 97–140.

2. Krutolapov A.S., Korobejnikova E.G. Analiz otechestvennyh patentov na izobreteniya (1994–2016 gg.) v oblasti sozdaniya ognezashchitnyh pokrytij // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2018. № 3. S. 31–38.

3. Ocenka termostojkosti ognezashchitnyh sostavov intumescentnogo tipa dlya ob"ektov neftegazovogo kompleksa / E.V. Golovina [i dr.] // *Neftegazovoe delo*. 2018. Т. 16. № 6. S. 100–106.

4. Abramov I.V., Gravit M.V., Gumerova E.I. Povyshenie predelov ognestojkosti sudovyh i stroitel'nyh konstrukcij pri uglevodorodnom temperaturnom rezhime // *Gazovaya promyshlennost'*. 2018. № 5 (768). S. 108–117.

5. Puti sovershenstvovaniya ognezashchitnyh termorasshiryayushchihsya sostavov dlya ispol'zovaniya na ob"ektah neftegazovogo kompleksa / O.V. Bezzaponnaya [i dr.] // *Pozharovzryvobezопасnost'*. 2017. Т. 26. № 12. S. 14–24.

6. Recent advances for intumescent polymers / S. Bourbigot [et al.] // *Macromolecular materials and engineering*. 2004. Vol. 289. № 6. P. 499–511.

7. Morgan A.B., Wilkie C.A. Flame retardant polymer nanocomposites // *John Wiley & Sons*. 2007. 422 p.

8. Puri R.G., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress // *Journal of coatings technology and research*. 2017. Vol. 14. № 1. P. 1–20.

9. Purification and functionalisation of multi-walled carbon nanotubes / K. Domagała [et al.] // *Materials letters*. 2019. Vol. 253. P. 272–275.

10. Ahmetshina L.F., Lebedeva G.A., Kodolov V.I. Funkcionalizaciya metall/uglerodnyh nanokompozitov fosfatami ammoniya dlya uluchsheniya svojstv vspuchivayushchihsya ognezashchitnyh pokrytij // *Himicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2011. Т. 13. № 4. S. 501–510.

11. Zybina O.A., Babkin O.E., Snegirev A.Yu. Kataliticheskoe dejstvie uglerodnyh nanodobavok na termoliz intumescentnyh lakokrasochnykh pokrytij // *Lakokrasochnye materialy i ih primenenie*. 2018. № 6. S. 35–40.

12. Issledovanie ekspluatacionnyh harakteristik nanomodificirovannyh ognezashchitnyh vspuchivayushchihsya kompozicij v usloviyah uglevodorodnogo pozhara na ob"ektah transportirovki nefteproduktov / A.V. Ivanov [i dr.] // *Pozharovzryvobezопасnost'*. 2017. Т. 26. № 10. S. 5–19.

13. Issledovanie ekspluatacionnyh harakteristik ognezashchitnyh pokrytij na osnove epoksidnyh smol, modificirovannyh astralenami / A.V. Ivanov [i dr.] // *Pozharovzryvobezопасnost'*. 2020. Т. 29. № 1. S. 55–68.

14. Eremina T.Yu., Gravit M.V., Dmitrieva Yu.N. Osobennosti i principy postroeniya receptur ognezashchitnyh vspuchivayushchihsya kompozicij na osnove epoksidnyh smol // *Pozharovzryvobezопасnost'*. 2012. Т. 21. № 7. S. 52–56.

15. Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic–inorganic nanocomposites – A review / S. Kango [et al.] // *Progress in polymer science*. 2013. Vol. 38. № 8. P. 1232–1261.

16. Shkodinskij S.V., Kushnir A.M., Prodchenko I.A. Vliyanie sankcij na tekhnologicheskij suverenitet Rossii // Problemy rynochnoj ekonomiki. 2022. № 2. S. 75–96.
17. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles / A.I. Shames [et al.] // Diamond and related materials. 2009. Vol. 18. № 2-3. P. 505–510.
18. Nenahov S.A., Pimenova V.P. Fiziko-himiya vspenivayushchihysya ogneshchitnyh pokrytij na osnove polifosfata ammoniya (obzor literatury) // Pozharovzryvobezopasnost'. 2010. T. 19. № 8. S. 11–58.
19. Bikiaris D. Can nanoparticles really enhance thermal stability of polymers? Part II: an overview on thermal decomposition of polycondensation polymers // Thermochemica acta. 2011. Vol. 523. № 1-2. P. 25–45.
20. Fulleroidnye nanomaterialy – aktivnye strukturnye modifikatory polimerov i polimernyh kompozitov / G.M. Gunyaev [i dr.] // Plasticheskie massy. 2003. № 10. S. 18–21.
21. Kugler S., Kowalczyk K., Sychaj T. Influence of dielectric nanoparticles addition on electroconductivity and other properties of carbon nanotubes-based acrylic coatings // Progress in organic coatings. 2016. Vol. 92. P. 66–72.
22. Tarancev A.A. Principy postroeniya regressionnyh modelej pri iskhodnyh dannyh s nechetkim opisaniem // Avtomatika i telemekhanika. 1997. № 11. S. 215–219.
23. Ivanov A.V. Sistema prognozirovaniya ekspluacionnyh harakteristik nanomodificirovannyh ogneshchitnyh i zashchitnyh sostavov // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2022. T. 11. № 4 (60). S. 185–192.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 17.01.2023; одобрена после рецензирования: 30.01.2023; принята к публикации: 02.02.2023.

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 17.01.2023; approved after review: 30.01.2023; accepted for publication: 02.02.2023.

*Информация об авторах:*

**Иванов Алексей Владимирович**, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: ivanov.av@igps.ru

*Information about the authors:*

**Ivanov Aleksey V.**, associate professor of the department of security service of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: ivanov.av@igps.ru

Научная статья

УДК 62-7

## **СИСТЕМЫ ВЫРАВНИВАНИЯ СТУПЕНЕЙ ПОЖАРНЫХ АВТОЛЕСТНИЦ: СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ**

**Преснов Алексей Иванович;**

✉ **Печурин Александр Алексеевич;**

**Марченко Михаил Анатольевич.**

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

✉ ***pechurinas@mail.ru***

*Аннотация.* Рассмотрены требования к системам выравнивания (горизонтирования) ступеней пожарных автолестниц и особенности работы систем и механизмов горизонтирования как пожарных автолестниц отечественного, так и зарубежного производства. Представлены различные конструктивные схемы систем горизонтирования ступеней, а также технические решения и способы их реализации на пожарных автолестницах. Произведен анализ существующих систем выравнивания (горизонтирования) ступеней на пожарных автолестницах, выявлены проблемные вопросы при их эксплуатации, где особое внимание уделяется соблюдению мер безопасности при работе со стрелой в случае провала или проседания грунта под какой-либо из опор и потере устойчивости. На базе систем горизонтирования платформы грузоподъемных машин предложены технические решения и функциональная схема системы горизонтирования опорного основания, которую можно применить на современных пожарных автолестницах и других высотно-спасательных автомобилях. Сделан вывод об отсутствии необходимости усложнять конструкцию пожарных автолестниц различными механизмами, обеспечивающими автоматическое выравнивание ступеней колен.

*Ключевые слова:* пожарная автолестница, высотно-спасательные автомобили, система управления, опорное основание, выравнивание, горизонтирование, механизм, датчик, контроллер

**Для цитирования:** Преснов А.И., Печурин А.А., Марченко М.А. Системы выравнивания ступеней пожарных автолестниц: состояние, перспективы, технические решения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 182–192.

Scientific article

## **LEVELING SYSTEMS FOR STEPS OF FIRE TRUCKS: STATE, PROSPECTS, TECHNICAL SOLUTIONS**

**Presnov Aleksey I.;**

✉ **Pechurin Aleksandr A.;**

**Marchenko Mikhail A.**

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

✉ ***pechurinas@mail.ru***

*Abstract.* The requirements for leveling systems (leveling) of steps of fire ladders and the features of the operation of systems and mechanisms for leveling, both fire ladders of domestic and foreign production, are considered. Various design schemes of stage leveling systems are presented, as well as technical solutions and methods for their implementation on fire ladders. An analysis of the existing systems for leveling (leveling) steps on fire ladders was made,

problematic issues during their operation were identified, where special attention is paid to observing safety measures when working with an arrow in case of failure or subsidence of the soil under any of the supports and loss of stability. Based on the leveling systems of the platform of load-lifting machines, technical solutions and a functional diagram of the leveling system of the support base are proposed, which can be used on modern fire ladders and other high-altitude rescue cars. It is concluded that there is no need to complicate the design of fire ladders with various mechanisms that provide automatic alignment of knee steps.

*Keywords:* fire ladder, high-altitude rescue cars, control system, supporting base, alignment, leveling, mechanism, sensor, controller

**For citation:** Presnov A.I., Pechurin A.A., Marchenko M.A. Leveling systems for steps of fire trucks: state, prospects, technical solutions // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 182–192.

## Введение

При эксплуатации высотно-спасательных автомобилей (ВСА), а именно пожарных автолестниц (АЛ), обеспечивают безопасность личного состава противопожарной службы и спасаемых во время проведения спасательной операции системы выравнивания (горизонтирования) ступеней колен (стрелы) АЛ, так как перемещение людей по стреле АЛ при крене ступеней может привести к потере их равновесия и падению.

В настоящее время требования к АЛ устанавливает ГОСТ Р 52284–2004 [1] в последней редакции от 16 августа 2019 г., согласно которому (п. 5.1.17) АЛ должны иметь систему выравнивания, обеспечивающую отклонение ступеней лестницы от горизонтальности не более  $2^\circ$ . В перспективе ГОСТ 34729–2021 [2] (п. 4.2.20) [2] с 1 июля 2024 г. будет требовать от производителей пожарных АЛ устанавливать на лестницу автоматическую систему выравнивания, обеспечивающую отклонение ступеней лестницы от горизонтальности не более  $2^\circ$ .

### Анализ существующих систем выравнивания (горизонтирования) ступеней пожарных АЛ, проблемные вопросы

Для реализации требования ГОСТ Р [1] производители АЛ использовали и используют различные конструктивные решения.

ОАО «Пожтехника» (г. Торжок, Тверская обл.) оборудовали и оборудуют 30-ти метровые пожарные АЛ различных моделей (от Л-21 до ПМ-506) механизмом бокового выравнивания, смонтированным на подъемной раме АЛ. Данный механизм служит для исключения дополнительных нагрузок, возникающих при установке АЛ на наклонной площадке, и улучшения условий подъема по лестнице. Он обеспечивает горизонтальность ступеней при повороте лестницы в пределах  $6^\circ$  [3, 8].

Выравнивание лестницы на таких АЛ производится поворотом всего комплекта колен гидроцилиндром 3 вокруг оси 5 (рис. 1), соединяющей четвертое колено с подъемной рамой.

Подъемная рама выполнена в виде жесткой стальной фермы, состоящей из двух боковых лонжеронов и поперечин. Она имеет переднюю (6) и заднюю (4) опорные дуги, на которые через передние и задние стальные опорные ролики нижнего колена лестницы передается вся нагрузка от веса колен и действующих на них внешних сил. Эти же опорные ролики при боковом выравнивании лестницы обеспечивают поворот комплекта колен на подъемной раме. Передние опорные ролики установлены сверху дуги, а задние – снизу. Нижнее колено шарнирно закреплено шкворнем на передней поперечине подъемной рамы. Шкворень установлен в отверстие, ось которого является геометрическим центром опорных дуг и центром вращения колен (5) на подъемной раме (2).

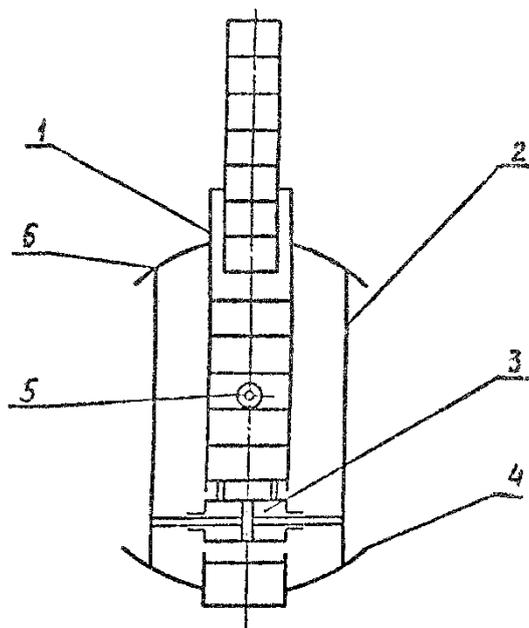


Рис. 1. Схема бокового выравнивания пакета колен АЛ-30(131):

1 – нижнее (четвертое колено); 2 – подъемная рама; 3 – гидроцилиндр бокового выравнивания;  
4 – задняя опорная дуга; 5 – ось вращения комплекта колен; 6 – передняя опорная дуга

Гидроцилиндр бокового выравнивания (симметрично относительно центра штока) закреплен к подъемной раме концами неподвижного штока. Подача рабочей жидкости в гидроцилиндр производится через гидрораспределитель с электромагнитным управлением. Для запирания рабочей жидкости в полостях гидроцилиндра на концах штока гидроцилиндра закреплены гидрозамки. В зависимости от подачи рабочей жидкости в ту или другую полость гидроцилиндра, его гильза перемещается вправо или влево относительно штока и поворачивает на оси подъемной рамы весь комплект колен, приводя ступени лестницы в горизонтальное положение. При поперечном наклоне влево комплект колен разворачивается вправо, при наклоне вправо – разворачивается влево. Управление гидроцилиндром бокового выравнивания производится автоматически блоком управления горизонтирования (БУГом) или ртутными датчиками, следящими за горизонтальностью ступеней колен. Также возможно управление в режиме ручного выравнивания с пульта управления.

Механизм бокового выравнивания включается в действие при угле подъема пакета колен выше  $30^\circ$ .

Работа механизма бокового выравнивания происходит в следующем порядке. При опускании ниже  $30^\circ$  комплект колен автоматически возвращается в исходное положение. При подъеме комплекта колен на угол свыше  $30^\circ$  замыкаются контакты датчика соответствующего угла наклона стрелы на приборе блокировки или поступает цифровой сигнал на прибор безопасности и механизм бокового выравнивания входит в режим автоматического или ручного выравнивания комплекта колен. Режим выравнивания определяется переводом соответствующего переключателя или кнопок управления в положение автоматического или ручного.

При автоматическом выравнивании питание на электромагниты гидрораспределителя поступает по электрической цепи БУГа или ртутные датчики. Выравнивание комплекта колен сопровождается загоранием соответствующих лампочек и происходит до горизонтального положения ступеней лестницы. В горизонтальном положении ступеней произойдет «срабатывание» БУГа или ртутных датчиков и разрыв электрической цепи питания электромагнитов. В результате пакет колен окажется зафиксированным в горизонтальном положении ступеней.

При необходимости ручного выравнивания соответствующий переключатель или кнопка управления устанавливается в положение «ручное выравнивание»: цепь БУГа отключается от электромагнитов гидрораспределителя, а процесс выравнивания комплекта колен вправо или влево производится соответствующим переключателем или кнопками управления.

БУГ имеет два канала управления исполнительным устройством – аналоговый и дискретный. Он формирует аналоговый сигнал управления механизмом выравнивания, пропорциональный углу наклона пакета колен относительно горизонта, и дискретные сигналы управления механизмом выравнивания, которые вырабатываются при превышении порогового значения угла наклона пакета колен относительно горизонта.

В конструкциях АЛ используется и другая схема бокового выравнивания: нижнее колено прикреплено жестко к подъемной раме, а механизм бокового выравнивания колен заменен механизмом выравнивания поворотной рамы, которая имеет шарнирное соединение с опорно-поворотным основанием. Такая схема бокового выравнивания пакета колен применяется как на пожарных АЛ зарубежного производства (например DLK 23-12 CS германской фирмы IVECO-Magirus Brandschutztechnik), так и отечественных АЛ-31(433112)ПМ-559 (ОАО «Пожтехника») и АЛ-30(43206)ЗСМИ (ООО «Урало-Сибирская пожарно-техническая компания») [5, 6]. Выравнивание лестницы при такой схеме производится поворотом всего поворотного корпуса (1) (рис. 2) гидроцилиндрами (4) вокруг осей (6), соединяющих поворотный круг с плитой поворотной опоры.

При поперечном наклоне влево корпус (1), как поворотный круг, вместе с комплектом колен разворачивается вправо, при наклоне вправо разворачивается влево. Для запирания рабочей жидкости в полостях гидроцилиндров выравнивания на одном из них установлен гидрозамок двухстороннего действия.

Выравнивание пакета колен может производиться как в автоматическом, с помощью БУГа, так и ручном режимах, обеспечивая горизонтальностью ступеней колен в пределах  $6^\circ$ .

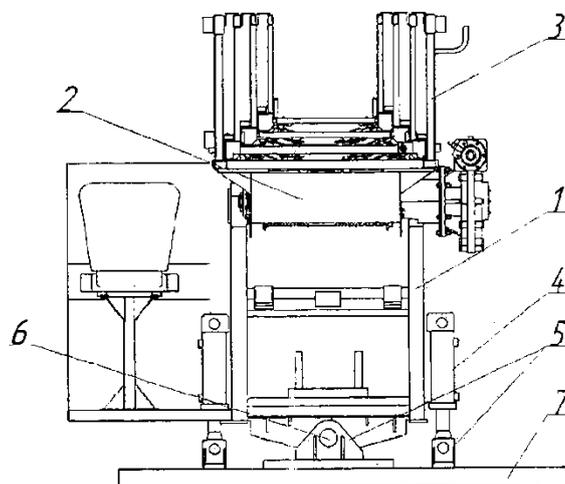


Рис. 2. Схема бокового выравнивания пакета колен АЛ-30(43206)ЗСМИ:

1 – корпус поворотный; 2 – подъемная рама; 3 – пакет колен; 4 – гидроцилиндры выравнивания;  
5 – кронштейны; 6 – оси; 7 – опорно-поворотное основание

Порядок работы механизма бокового выравнивания аналогичен рассмотренному ранее.

Система выравнивания ступеней (компенсации уклона) на автолестнице DLK 55 (современное название M55L) германской фирмы IVECO-Magirus Brandschutztechnik имеет свои особенности [7]. Она работает за счет вращения специальных клиновидных дисков, расположенных в нижней части поворотного основания (рис. 3) и имеет гидравлический

привод. Включается автоматически при подъеме комплекта колен с опорной стойки и автоматически выключается при опускании комплекта на стойку. Максимальный компенсируемый угол уклона местности составляет  $-8^\circ$ .

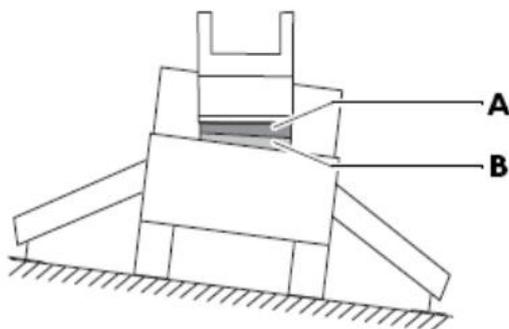


Рис. 3. Схема выравнивания ступеней на пожарной АЛ DLK 55 IVECO-Magirus:  
А – верхний клиновидный диск; В – нижний клиновидный диск

Все эти системы представляют собой дополнительные устройства и механизмы (гидроцилиндры, привод, управление и т.д.), которые усложняют конструкцию АЛ, а в эксплуатации (при работе со стрелой) часто вызывают проблемы. Так, например для АЛ-30(131) характерна неисправность: при опускании стрелы на угол менее  $30^\circ$  пакет колен не возвращается в исходное транспортное положение. В результате становится невозможно нормально положить пакет колен на транспортную стойку.

БУГ при формировании аналогового и дискретного сигналов создает определенные импульсы (скачки) давления в гидроприводе. В итоге на лестнице могут возникнуть опасные колебания стрелы. В таком случае оператор, как правило, отключает автоматический режим горизонтирования ступеней лестницы. Также из-за неисправностей БУГа возможно несанкционированное движение по выравниванию пакета колен, которое вызывает особую опасность при совпадении с направлением крена при выравнивании поворотной рамы.

Все это привело к тому, что на отечественных АЛ, смонтированных на шасси КамАЗ, данные системы не устанавливаются, а обеспечивают горизонтирование ступеней (соблюдение требований п. 5.1.17 ГОСТ Р 52284–2004) лестницы более точной установкой АЛ на опоры (горизонтирование платформы АЛ) в ручном режиме, которая производится в следующей последовательности [4, 8]:

- опустить обе передние опоры на необходимую длину и отгоризонтировать («убрать») поперечный крен платформы по соответствующему указателю крена в заднем отсеке платформы (поскольку одновременно с опусканием передних опор автоматически происходит блокировка рессор задней тележки, при установке АЛ на опоры последним движением для передних опор должно быть их опускание);

- опустить обе задние опоры на необходимую длину и отгоризонтировать («убрать») продольный крен платформы по соответствующему указателю крена в заднем отсеке платформы.

Горизонтирование платформы опорами необходимо проводить до полной ликвидации крена в любой плоскости.

После установки АЛ на опоры колеса автомобиля должны быть оторваны от земли, мосты и подвеска ходовой части автомобиля разгружены, а на щитах (пультах) управления должна загореться соответствующая индикация о готовности опорного основания к дальнейшей работе оператора с лестницей.

Таким способом точно (в ноль) отгоризонтировать платформу и ступени АЛ в условиях боевых действий на пожаре или при проведении спасательной операции практически невозможно. Поэтому на практике условно допускается крен платформы  $\pm 1,0^\circ$ . Отсюда следует еще один недостаток установки на опоры АЛ в ручном режиме – значительное время выполнения самой операции, которое также зависит и от размещения органов управления элементов опорного контура (аутригеров). Проблема заключается в том, что производители, в целях обеспечения комплектации АЛ пожарно-техническим вооружением и оборудованием согласно приказу МЧС России № 425 от 25 июля 2006 г. [15] с изменениями, внесенными приказом МЧС России № 142 от 28 марта 2014 г., размещают органы управления аутригерами в двух противоположных отсеках задней части платформы автомобиля, что создает определенные трудности при горизонтировании платформы.

Современные пожарные АЛ зарубежного производства, как правило, оборудуются устройствами автоматической установки на опоры и горизонтирования опорного основания за счет использования в управлении АЛ электронных систем [6, 7].

В настоящее время такие системы разработаны и в России. Ими оборудуют пожарные АЛ, автоподъемники и пеноподъемники. В основе их работы лежит контроллер или программируемое реле. Например, система безопасного управления и контроля СБУК, разработанная ООО НПП «Резонанс» [9], одна из функций которой – автоматическая установка на опоры и горизонтирование платформы автомобиля. Так, при установке на опоры контроллер получает цифровой сигнал от датчиков наклона платформы, сориентированных в продольном и поперечном направлениях, и датчиков, контролирующих положение и состояние аутригеров опорного основания; после чего вырабатывает алгоритм движения гидроцилиндров с целью установки автомобиля на опоры и горизонтирования его платформы (с разгрузкой мостов и подвески ходовой части шасси).

Таким образом, выравнивание и горизонтирование ступеней колен АЛ происходит при установке автомобиля на опоры путем горизонтирования опорного основания и платформы АЛ, которое может быть произведено в ручном и автоматическом режимах. То есть при установке АЛ на опоры должна быть обеспечена горизонтальность ступеней, которая должна сохраняться в течение всего времени ее использования (работы со стрелой).

Однако на практике при работе со стрелой нередко случаи проседания какой-либо опоры, так как при выборе места установки АЛ достаточно затруднительно определить несущую способность грунта. Опасными участками являются те, на которых может произойти проваливание опоры: края откосов, свежий насыпной грунт и т.п. Вообще требования ГОСТ Р 52284–2004 устанавливают для АЛ значение среднего давления на грунт основанием выносной опоры или специального опорного щита не более 0,6 МПа (6 кгс/см<sup>2</sup>), что соответствует плотно уложенному гравию. Но при проведении спасательной операции, особенно в стесненных дорожных условиях в жилых зонах, производят установку аутригеров АЛ не только на асфальта-бетонное покрытие, но и на природный грунт (газон). Все это может привести к нарушению горизонтального положения ступеней колен лестницы, в том числе и потере устойчивости АЛ.

В случае провала или проседания грунта под какой-либо из опор (что характерно при установке АЛ на мягких грунтах), потере устойчивости и возникновения крена оператору необходимо отвести стрелу (пакет колен) из сектора данной опоры, после чего собрать АЛ в транспортное положение для дальнейшей передислокации, что в итоге может осложнить и даже сделать невозможной спасательную операцию.

---

\* зачастую в связи с некомплектом личного состава пожарно-спасательных подразделений в некоторых регионах нашей страны управление АЛ производит водитель-оператор в одном лице

В настоящее время в России происходит переход отечественных стандартов на международную систему стандартизации в рамках государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В итоге с 1 июля 2024 г. в России вводится ГОСТ 34729–2021 [2], разработанный межгосударственным техническим комитетом по стандартизации (рабочий орган Евразийского совета по стандартизации, метрологии и сертификации), согласно которому (как уже отмечалось во введении) АЛ должны иметь автоматическую систему выравнивания, обеспечивающую отклонение ступеней лестницы от горизонтальности не более  $2^\circ$ .

Существующие системы горизонтирования платформы и соответственно ступеней АЛ не могут обеспечить автоматическую систему выравнивания и горизонтирования ступеней в случае провала или проседания грунта под какой-либо из опор.

### **Новые подходы к вопросу горизонтирования платформы ВСА**

Для решения проблемы устойчивости АЛ на слабых грунтах, а именно предотвращения крена платформы в случае провала или проседания грунта под какой-либо из опор, целесообразно оборудовать АЛ (как впрочем, и другие ВСА) устройством автоматического выравнивания опорного основания при возникновении крена платформы. В настоящее время такие устройства находят применение, в том числе и в отечественном машиностроении, для горизонтирования платформы грузоподъемных машин [11–14]. Они позволяют в автоматическом режиме управлять выдвижением гидравлических опор до достижения горизонтального положения платформы, в том числе и автомобильного шасси. Управление такими устройствами осуществляет блок управления (электронный контроллер). В их состав входят датчики давления гидравлической жидкости в поршневой и штоковой полостях гидроцилиндров опор, датчики наклона, сориентированные в продольной и поперечной плоскостях платформы, и датчики контакта штоков с опорной поверхностью.

Как уже отмечалось ранее, в настоящее время некоторые модели пожарных АЛ, автоподъемников и пеноподъемников отечественного производства оборудуются электронными системами управления, позволяющими производить автоматическое горизонтирование опорного основания.

Поэтому для применения подобного типа устройств на АЛ и других ВСА достаточно дооборудовать уже применяемые устройства автоматического горизонтирования опорного основания датчиками давления гидравлической жидкости в поршневой и штоковой полостях гидроцилиндров опор и электронным контроллером. Использование датчиков давления в гидроцилиндрах опор обеспечит возможность отслеживать степень нагружения опор. Электронный контроллер управляющими выходами должен быть связан с соответствующими секциями электрогидрораспределителя опор и главным электрогидрораспределителем «опоры-стрела», так как при работе со стрелой в штатном режиме главный электрогидрораспределитель, как правило, блокирует управление опорным контуром. Гидроцилиндры опор должны иметь запас хода штока для обеспечения коррекции крена платформы из-за проседания опор [10].

Работа такой системы на АЛ (ВСА) может происходить следующим образом (рис. 4): в случае провала или проседания грунта под какой-либо из опор и аварийном крене платформы электрический сигнал с датчиков давления и крена платформы поступает в контроллер, который, в свою очередь, дает управляющую команду в соответствующие секции электрогидрораспределителей для выдвижения требуемых гидроцилиндров опор до момента горизонтирования платформы.

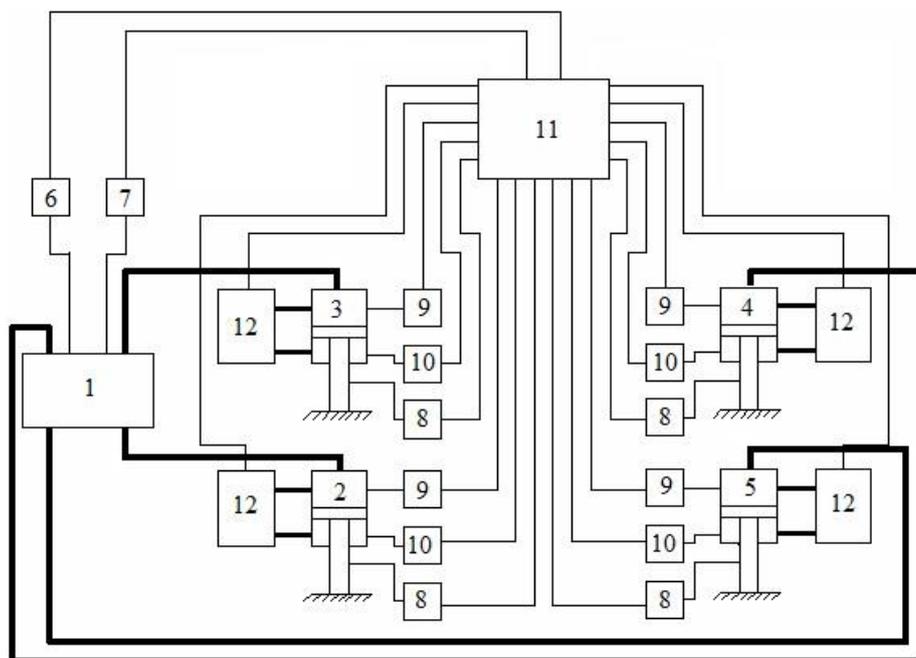


Рис. 4. Функциональная схема системы автоматического выравнивания и горизонтирования опорного основания высотного спасательного автомобиля:

- 1 – опорное основание (платформа); 2, 3, 4, 5 – гидроцилиндры опор; 6, 7 – датчики продольного и поперечного наклона платформы (БУГ); 8 – датчики положения штока гидроцилиндра; 9 – датчики измерения давления в поршневой полости гидроцилиндра; 10 – датчики измерения давления в штоковой полости гидроцилиндра; 11 – блок управления (электронный контроллер); 12 – электрогидрораспределитель

Применение данного типа устройств на АЛ и других ВСА позволит при аварийном крене в автоматическом режиме управлять выдвиганием опор до достижения горизонтального положения платформы автомобиля. В результате чего достигается непрерывное автоматическое поддержание опорного основания и платформы в горизонтальном положении в течение всего времени работы, что в итоге будет способствовать повышению оперативности и безопасности работы со стрелой, при установке АЛ (ВСА) на слабых (мягких) грунтах.

### Заключение

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что в настоящее время в связи с развитием и внедрением в управление электронных систем отсутствует необходимость оборудовать пожарные АЛ механизмами, обеспечивающими автоматическое выравнивание ступеней колен.

Для автоматического выравнивания и горизонтирования ступеней, а также сохранения устойчивости пожарных АЛ и других ВСА в аварийных ситуациях (в случае провала или проседании грунта под какой-либо из опор) достаточно внести соответствующие конструктивные доработки в систему управления аутригерами опорного основания.

### Список источников

- ГОСТ Р 52284–2004. Пожарные автолестницы. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.12.2022).
- ГОСТ 34729–2021. Межгосударственный стандарт. Техника пожарная. Автолестницы пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой

и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.12.2022).

3. Автолестница пожарная АЛ-30(131)ПМ-506Д. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ПМ-506Д.00.000 ТО. Торжок: ОАО «Пожтехника», 1998.

4. Автолестница пожарная АЛ-50(65115)ПМ-513Б. Руководство по эксплуатации ПМ-513Б.00.00.00 РЭ. Торжок: ОАО «Пожтехника», 2014.

5. Автолестница пожарная АЛ-30(43206)ЗСМИ. Руководство по эксплуатации ЗСМИ.00.00.000 РЭ. Миасс: ООО «УСПТК», 2011.

6. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. Поворотные автолестницы DLK 18-12 Vario CS, DLK 23-12 Vario CS, DLK 23-12 n. B. Vario CS, DLK 37 Vario CS. Iveco Magirus Brandschutztechnik GmbH, 2007.

7. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. Пожарная автолестница DLK 55 Vario CS. Iveco Magirus Brandschutztechnik GmbH, 2007.

8. Преснов А.И., Марченко М.А., Мороз Н.А. Пожарные автолестницы: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017.

9. Система управления и защиты пожарных автомобилей СБУК 322. Техническое описание. Челябинск: ООО Научно-производственное предприятие «Резонанс», 2016.

10. Преснов А.И., Печурин А.А., Данилевич А.В. Высотно-спасательные автомобили: состояние, проблемные вопросы, технические решения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 4 (56). С. 128–136.

11. Щербаков В.С., Корытов М.С., Григорьев М.Г. Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной машины: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 119 с.

12. Устройство автоматического выравнивания опорной платформы в горизонтальной плоскости: пат. 94220 Рос. Федерация: МПК В 66 С 23/80, В 66 С 5/00 / Щербаков В.С., Корытов М.С., Григорьев М.Г.; заявитель и патентообладатель ГОУ СибАДИ. № 2009147434/22; заявл. 21.12.09; опубл. 20.05.10, Бюл. № 14. 3 с.

13. Щербаков В.С., Корытов М.С., Григорьев М.Г. Система автоматического выравнивания опорной платформы строительной машины в горизонтальной плоскости // Вестник ВГТУ. 2010. Т. 6. № 2. С. 88–92.

14. Щербаков В.С., Корытов М.С., Григорьев М.Г. Алгоритм работы системы автоматического горизонтирования опорной платформы строительной машины // Вестник ВГТУ. 2010. Т. 6. № 3. С. 88–91.

15. Об утверждении норм табельной положенности пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательного оборудования для основных и специальных пожарных автомобилей, изготавливаемых с 2006 года: приказ МЧС России от 25 июля 2006 г. № 425 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.12.2022).

## References

1. GOST R 52284–2004. Pozharnye avtolestnicy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 10.12.2022).

2. GOST 34729–2021. Mezghosudarstvennyj standart. Tekhnika pozharnaya. Avtolestnicy pozharnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 10.12.2022).

3. Avtolestnica pozharnaya AL-30(131)PM-506D. Tekhnicheskoe opisaniye i instrukciya po ekspluatácii PM-506D.00.000 TO. Torzhok: ОАО «Pozhtekhnika», 1998.

4. Avtolestnica pozharnaya AL-50(65115)PM-513B. Rukovodstvo po ekspluatácii PM-513B.00.00.00 RE. Torzhok: ОАО «Pozhtekhnika», 2014.

5. Avtolestnitsa pozharnaya AL-30(43206)3SMI. Rukovodstvo po ekspluatatsii 3SMI.00.00.000 RE. Miass: OOO «USPTK», 2011.
6. Rukovodstvo po ekspluatatsii i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu. Povоротnye avtolestnitsy DLK 18-12 Vario CS, DLK 23-12 Vario CS, DLK 23-12 n. B. Vario CS, DLK 37 Vario CS. Iveco Magirus Brandschutztechnik GmbH, 2007.
7. Rukovodstvo po ekspluatatsii i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu. Pozharnaya avtolestnitsa DLK 55 Vario CS. Iveco Magirus Brandschutztechnik GmbH, 2007.
8. Presnov A.I., Marchenko M.A., Moroz N.A. Pozharnye avtolestnitsy: ucheb. posobie. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017.
9. Sistema upravleniya i zashchity pozharnykh avtomobilej SBUK 322. Tekhnicheskoe opisanie. Chelyabinsk: OOO Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rezonans», 2016.
10. Presnov A.I., Pechurin A.A., Danilevich A.V. Vysotno-spasatel'nye avtomobili: sostoyanie, problemnye voprosy, tekhnicheskie resheniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 4 (56). S. 128–136.
11. Shcherbakov V.S., Korytov M.S., Grigor'ev M.G. Avtomatizatsiya proektirovaniya ustrojstv upravleniya polozheniem platformy stroitel'noj mashiny: monografiya. Omsk: SibADI, 2011. 119 s.
12. Ustrojstvo avtomaticheskogo vyravnivaniya opornoj platformy v gorizontal'noj ploskosti: pat. 94220 Ros. Federatsiya: MPK V 66 S 23/80, V 66 S 5/00 / Shcherbakov V.S., Korytov M.S., Grigor'ev M.G.; zayavitel' i patentoobladatel' GOU SibADI. № 2009147434/22; zayavl. 21.12.09; opubl. 20.05.10, Byul. № 14. 3 s.
13. Shcherbakov V.S., Korytov M.S., Grigor'ev M.G. Sistema avtomaticheskogo vyravnivaniya opornoj platformy stroitel'noj mashiny v gorizontal'noj ploskosti // Vestnik VGTU. 2010. T. 6. № 2. S. 88–92.
14. Shcherbakov V.S., Korytov M.S., Grigor'ev M.G. Algoritm raboty sistemy avtomaticheskogo gorizontirovaniya opornoj platformy stroitel'noj mashiny // Vestnik VGTU. 2010. T. 6. № 3. S. 88–91.
15. Ob utverzhdenii norm tabel'noj polozhennosti pozharno-tekhnicheskogo vooruzheniya i avarijno-spasatel'nogo oborudovaniya dlya osnovnykh i special'nykh pozharnykh avtomobilej, izgotavlivaemykh s 2006 goda: prikaz MCHS Rossii ot 25 iyulya 2006 g. № 425 // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 10.12.2022).

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 23.11.2022; одобрена после рецензирования: 25.01.2023; принята к публикации: 27.01.2023.

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 23.11.2022; approved after review: 25.01.2023; accepted for publication: 27.01.2023.

*Информация об авторах:*

**Преснов Алексей Иванович**, доцент кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: presnov.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2491-630X>

**Печурин Александр Алексеевич**, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: pechurinas@mail.ru

**Марченко Михаил Анатольевич**, заместитель начальника университета – начальник института заочного и дистанционного обучения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: mar\_m1974@mail.ru

*Information about the authors:*

**Presnov Alexey I.**, associate professor of the department of retraining and advanced training of specialists 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: presnov.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2491-630X>

**Pechurin Alexander A.**, associate professor of the department of fire, rescue equipment and automotive industry of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: pechurinas@mail.ru

**Marchenko Mikhail A.**, deputy head of the university – head of the institute of correspondence and distance learning of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: mar\_m1974@mail.ru

Научная статья

УДК 343.98

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ВЗРЫВА И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПОЖАРА**

✉ Дашко Леонид Васильевич;

Синюк Вадим Дмитриевич.

Экспертно-криминалистический центр МВД России, Москва, Россия.

Владимиров Владимир Юрьевич.

Академия управления МВД России, Москва, Россия

✉ [ldashko@mvd.ru](mailto:ldashko@mvd.ru)

*Аннотация.* Статья посвящена использованию современных средств и методов, используемых в экспертно-криминалистических подразделениях системы МВД России при исследовании бетонных (железобетонных) конструкций, поврежденных термическим воздействием в результате взрывов топливно-воздушных смесей и последующего пожара. Описаны процессы, протекающие в бетонных (железобетонных) конструкциях при термическом воздействии на них в процессе пожара. Приведены результаты исследования бетонных конструкций с помощью различных методов, отмечены преимущества каждого из них. Рассмотрены возможности использования механизмов исследования бетонных (железобетонных) конструкций при разработке методического обеспечения комплексных ситуационных взрыво- и пожарно-технических судебных экспертиз.

*Ключевые слова:* взрыв, пожар, топливно-воздушная смесь, бетон, железобетон, взрывотехническая экспертиза, пожарно-техническая экспертиза, пожар, установление очага пожара, ситуационная экспертиза

**Для цитирования:** Дашко Л.В., Синюк В.Д., Владимиров В.Ю. Методы исследования бетонных конструкций после взрыва и последующего пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 193–203.

Scientific article

## **METHODS FOR THE STUDY OF CONCRETE STRUCTURES AFTER AN EXPLOSION AND SUBSEQUENT FIRE**

✉ Dashko Leonid V.;

Sinyuk Vadim D.

Forensic science center of the Ministry of internal affairs of Russia, Moscow, Russia.

Vladimirov Vladimir Yu.

Management academy of the Ministry of internal affairs of Russia, Moscow, Russia

✉ [ldashko@mvd.ru](mailto:ldashko@mvd.ru)

*Abstract.* The article is devoted to the use of modern tools and methods used in the forensic divisions of the system of the Ministry of internal affairs of Russia in the study of concrete (reinforced concrete) structures damaged by thermal impact as a result of explosions of fuel-air mixtures and subsequent fire. The processes occurring in concrete (reinforced concrete) structures under thermal action on them during a fire are described. The results of the study of concrete

structures using various methods are given, the advantages of each of them are noted. The possibilities of using the mechanisms for studying concrete (reinforced concrete) structures in the development of methodological support for complex situational explosion and fire technical forensic examinations are considered.

*Keywords:* explosion, fire, fuel-air mixture, concrete, reinforced concrete, explosive expertise, fire-technical expertise, fire, identification of the source of fire, situational expertise

**For citation:** Dashko L.V., Sinyuk V.D., Vladimirov V.Yu. Methods for the study of concrete structures after an explosion and subsequent fire // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 1 (65). P. 193–203.

## Введение

В рамках производства судебных экспертиз по происшествиям, связанным со взрывами топливно-воздушных смесей (ТВС) в зданиях и иных сооружениях, решаются вопросы установления места возникновения взрыва и его причины. Правильное и своевременное решение поставленных задач позволяет органам дознания и следствия оперативно установить наличие состава преступления, подозреваемых лиц и их степень ответственности.

Согласно [1] под взрывом понимается быстро протекающий процесс физических и (или) химических превращений веществ, сопровождающийся высвобождением в окружающую среду значительного количества энергии и газообразных продуктов взрыва. Взрывы по природе своего возникновения традиционно делятся на физические и химические.

Особый интерес с точки зрения получения криминалистически значимой информации, относящейся к взрыву ТВС, связано с исследованием строительных конструкций. Это обусловлено в первую очередь тем, что после взрыва ТВС в большинстве случаев возникает пожар. Поэтому задачи определения степени повреждений (как физических, так и термических) совпадают. Вопросы, связанные с взрывами ТВС, которые сопровождаются последующим горением, как правило, решаются в рамках пожарно-технической экспертизы (ПТЭ).

К основным задачам судебной ПТЭ [2] можно отнести установление места горения и причины возникновения пожара. При производстве ПТЭ используются разнообразные аналитические методы исследований, которые позволяют оценить различные свойства материалов, в том числе механическую прочность, наличие огнезащитной обработки, степень воздействия опасных факторов пожаров и т.д.

## Методы исследования

Для проведения данных исследований в экспертной практике применяются разнообразные физико-химические методы (хроматография, вихретоковый контроль, ультразвуковое исследование внутренних несплошностей, определение коэрцитивной силы, термический анализ), которые позволяют провести комплексное изучение объектов ПТЭ.

К приоритетным направлениям производства судебных экспертиз по фактам пожаров и взрывов относятся исследования влияния высоких температур на прочностные свойства строительных конструкций, в основе которых присутствуют цементные смеси и их производные. Такие материалы относятся либо к трудно горючим, либо к негорючим, и большей частью сохраняются на месте пожара.

Строительные материалы, изготовленные методами, исключаящими высокотемпературную обработку, являются весьма информативными при инструментальном и визуальном исследовании объектов, изымаемых с мест пожаров. Наиболее распространенными строительными материалами на основе цемента являются бетон и его производные.

Термическое воздействие в условиях пожара на различные конструкции, выполненные из бетона, и их последующее разрушение зависят от многих факторов.

Разрушение бетона сопровождается протекающими в нем процессами разложения компонентов, и в условиях пожара такие процессы протекают при разных температурах (рис. 1). Под воздействием высоких температур пожара происходит разложение компонентов бетона и снижение прочностных свойств железобетонных конструкций, при продолжительном нагреве происходит их разрушение. Одна из причин снижения прочностных свойств бетона в условиях пожара заключается в увеличении внутренних напряжений за счет разных температурных коэффициентов линейного расширения наполнителей и цементной основы [3].



Рис. 1. Разрушение железобетонных несущих конструкций в результате пожара

В интервале температур 20–100 °С происходит испарение воды, давление насыщенных паров которой в порах бетона приводит к возникновению напряженного состояния и снижению прочностных свойств. При нагреве свыше 200 °С в бетонных конструкциях возникают разнонаправленные деформации вследствие усадки вяжущих компонентов и расширения наполнителей. При нагреве бетонных изделий до 200–300 °С полностью испаряется несвязанная вода, и начинаются процессы дегидратации кристаллогидратов и гидросиликатов, что, соответственно, приводит к разрушению кристаллической структуры цементного камня, при этом видимых изменений на поверхности не наблюдается. При температуре 400 °С и выше продолжается интенсивное разложение кристаллогидратов и гидросиликатов, что приводит к постепенной усадке цементного камня, при этом с ростом температуры наполнители расширяются. В результате этих разнонаправленных процессов в местах, где присутствуют наполнители, возникает напряжение, приводящее в дальнейшем к образованию трещин. При нагреве до температуры 410 °С начинается процесс дегидратации гидроксида кальция, а при воздействии свыше 500–600 °С происходит стремительное разрушение бетона, что обусловлено началом разложения трехкальциевого силиката и дальнейшим полиморфным превращением кварца из  $\alpha$ - в  $\beta$ -модификацию. Разложение трехкальциевого силиката предопределяет разрушение бетона, так как он является основным вяжущим компонентом. При 600–700 °С происходит разложение карбоната кальция, раскрытие трещин достигает 1–2 мм с длиной до нескольких сантиметров. При непрерывном нагреве до 1 000 °С прочность цементного камня составляет не более 30 % от прочности исходных образцов [4].

Для исследования были подготовлены образцы бетонов (длина – 190 мм, ширина – 140 мм, высота – 100 мм) на основе цемента марки ПЦ 500-ДО-Н производства «Серебрянский цементный завод». Цементный раствор заливался в формы и выдерживался в течение 28 сут до полного отверждения. Затем каждый образец был обожжен в муфельной печи при температурах от 200 до 1 000 °С в течение 30 мин (рис. 2).

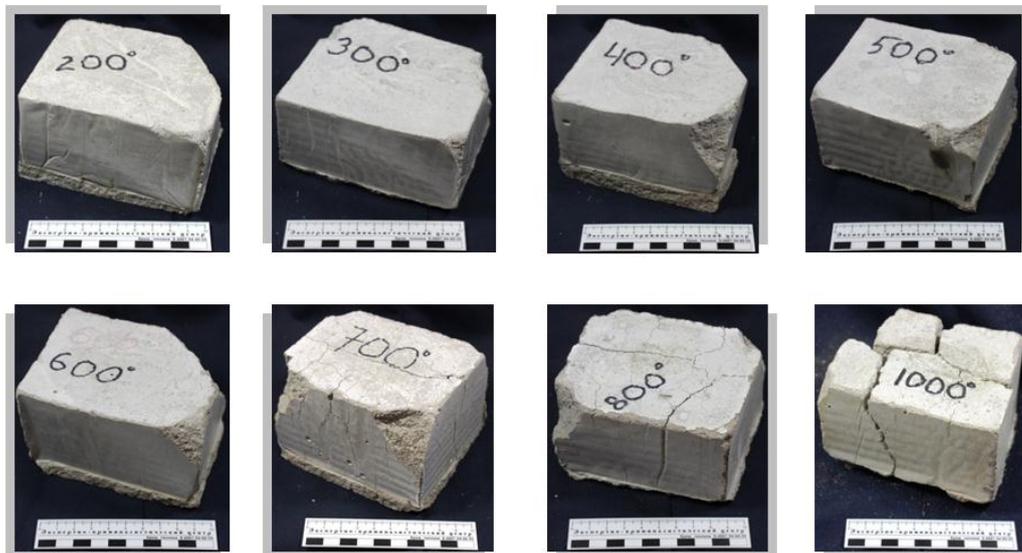


Рис. 2. Образцы бетона на основе марки цемента ПЦ 500-ДО-Н, обожженные при разных<sup>1</sup> температурах

Для оценки воздействия температуры пожара на бетонные конструкции необходимо выявить и зафиксировать все трещины.

Однако при оценке термического воздействия необходимо принимать в расчет, что растрескивание бетона возможно и в результате быстрого охлаждения его поверхности водой при ликвидации пожара. Поэтому на этапе осмотра необходим сбор детальной информации о ходе тушения пожара (куда и в каком количестве подавались пожарные стволы) [5].

Согласно СП 329.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила обследования после пожара» [6]: «Инструментальное обследование железобетонных конструкций после пожара включает в себя:

- определение фактической прочности на сжатие бетона поврежденных пожаром железобетонных конструкций с применением методов неразрушающего и разрушающего контроля прочности бетона;
- определение глубины деструкции поверхностного слоя бетона, прогретого свыше 500 °С;
- определение фактического сопротивления арматуры растяжению вырезанием образцов из оголенных арматурных стержней;
- определение глубины распространения трещин в конструкциях ультразвуковым методом».

После этого в обязательном порядке после пожара необходимо провести проверочные расчеты для строительных конструкций.

Однако для производства судебных взрыво- и ПТЭ подобные расчеты не несут доказательственной информации, поэтому в рамках производства судебных экспертиз проверочные расчеты не проводятся.

<sup>1</sup> Образец, обожженный при 900 °С, имеет глубокие трещины, но сохраняет свою целостность, на рис. 2 не представлен

Предварительную оценку прочностных свойств бетонных конструкций на месте пожара в экспертно-криминалистических подразделениях (ЭКП) системы МВД России проводят с помощью комплекса приборов и оборудования специального назначения для предварительного исследования вещественных доказательств, входящих в комплект передвижных пожарных лабораторий, среди которых используются следующие методы.

### Исследование прочностных свойств бетона

#### 1. Склерометры – приборы, используемые для определения прочности бетона

Для определения твердости бетона в ЭКП МВД России используют простейший склерометр – «молоток Кашкарова» или аналогичные ему по принципу действия инструменты, например «молоток Шмидта» или «молоток Физделя» [7].

«Молоток Кашкарова» относится к приборам динамического действия, его конструкция позволяет исключить влияние силы удара на результаты получаемых измерений. Одновременно происходит надавливание на поверхность исследуемой бетонной конструкции и эталонный металлический стержень с заданными параметрами (рис. 3) [8].



Рис. 3. «Молоток Кашкарова»

#### Результаты исследования прочности и их обсуждение

Оценка прочностных свойств бетонных конструкций проводится на основе метода пластической деформации и корреляционной связи между изменяемыми параметрами, то есть между относительной прочностью поверхности бетона и пределом прочности бетона на сжатие. Метод основан на наличии связи между прочностью бетона и величиной косвенного показателя, в качестве которого используется отношение диаметров отпечатков, оставленных на бетоне и эталонном стержне при ударе «молотком Кашкарова» (рис. 4).

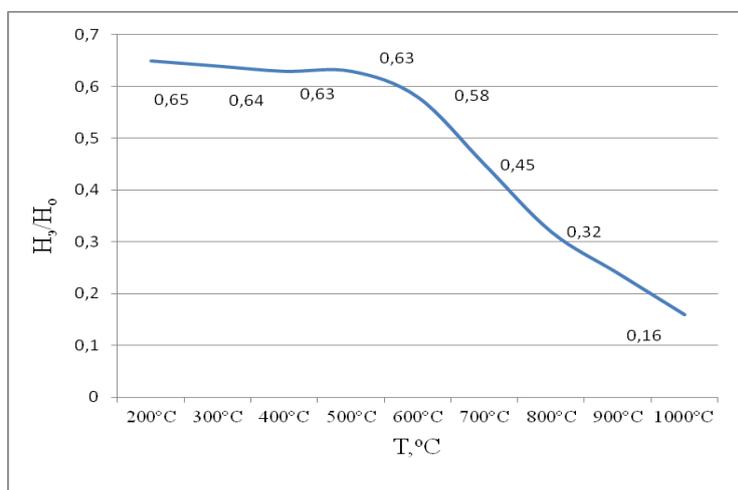


Рис. 4. Результаты исследования «молотком Кашкарова» бетонных блоков (рис. 2) после высокотемпературного воздействия:  $H_y$  – диаметр эталонного стержня;  $H_0$  – диаметр образца

При нагреве бетона снижаются его прочностные свойства на сжатие, если в образцах, отожженных до 200–500 °С, при сравнении площади отпечатков на поверхностях эталонного стержня и исследуемого объекта сопоставимы, то при увеличении степени термического воздействия свыше 600 °С наблюдается существенное снижение прочности, и ударный шарик «молотка Кашкарова» глубже входит в слой бетона.

Данные, полученные с помощью «молотка Кашкарова», можно использовать при проведении сравнительного анализа бетонных конструкций на предмет установления степени термического воздействия.

## 2. Ультразвуковое исследование бетона

Ультразвуковые дефектоскопы – приборы, используемые для определения скорости распространения ультразвуковых волн в бетоне.

Наиболее информативным для определения свойств бетона является ультразвуковое поверхностное прозвучивание, где ультразвуковые волны расходятся от источника вдоль поверхности монолитного твердого тела и затухают с увеличением глубины. При их распространении частицы колеблющейся среды описывают эллиптические фигуры, у которых одна из главных осей параллельна, а другая перпендикулярна к поверхности тела. То есть происходят как продольные, так и поперечные смещения частиц материала среды [9].

Поведение бетонных конструкций в условиях реальных пожаров зависит от тепловой нагрузки, их конструктивного исполнения, а также в некоторой степени определяется назначением, маркой бетона (цемента), видом (типом) наполнителей, армирующим материалом, толщиной защитного слоя и т.п. На характер разрушения бетонных конструкций также влияют параметры температурного воздействия (температура, скорость и продолжительность нагрева). Конструкции, которые прогреваются с нескольких сторон, разрушаются сильнее, чем при одностороннем нагреве. Происходящие при нагреве сложные физико-механические и физико-химические изменения влияют и на акустические свойства бетона, причем эти изменения более выражены в его поверхностном слое.

В настоящее время в ЭКП МВД России используются разные модели дефектоскопов, например UCD-60 (рис. 5), поставляемых на вооружение в различное время.



**Рис. 5. Ультразвуковой дефектоскоп UCD-60 с игольчатыми ультразвуковыми преобразователями. Позволяет в режиме реального времени выводить информацию о характере прохождения ультразвуковой волны в массиве бетона**

*Результаты исследования ультразвуком и их обсуждение*

Использование ультразвукового метода позволяет определить скорость распространения ультразвуковых волн в поверхностном слое бетона железобетонных конструкций. Ультразвуковое исследование проводится непосредственно на месте пожара. Оценка степени разрушения бетонных конструкций проводится на основе анализа скорости прохождения ультразвуковой волны и позволяет выявить те зоны термических поражений, где разрушение конструкции еще невозможно определить визуально.

По результатам прозвучивания разных областей возможна дифференциация температур нагрева конструкции (рис. 6).

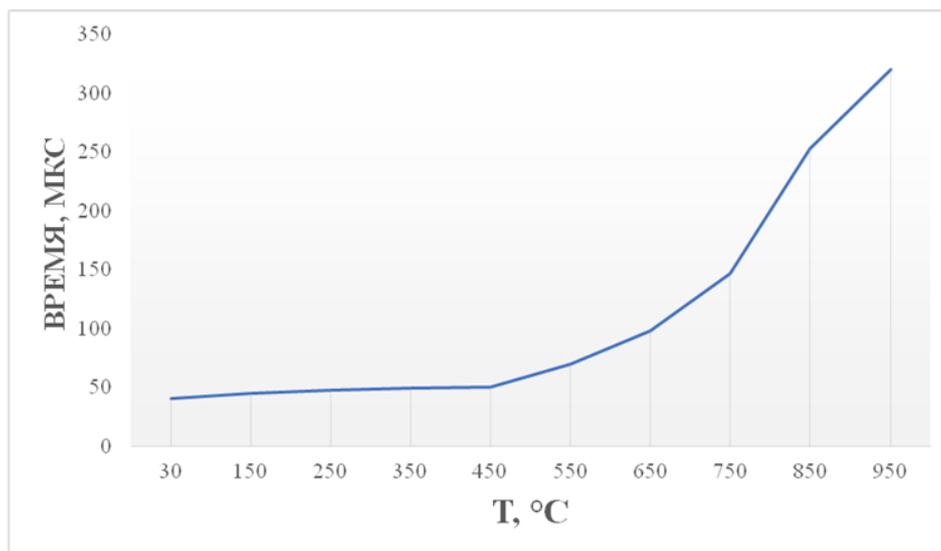


Рис. 6. Зависимость изменения времени прохождения ультразвуковых волн при продольном прозвучивании бетонных блоков (рис. 2) от температуры при длительности теплового воздействия

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что чем выше температура, тем ниже скорость распространения ультразвуковых волн в образце. Продолжительность теплового воздействия также существенно влияет на скорость распространения ультразвуковых волн. Для образцов, изготовленных из разных марок бетона, снижение скорости распространения ультразвуковых волн при абсолютных значениях теплового воздействия несколько отличаются, однако общая тенденция к снижению скорости характерна для всех [10].

### *3. Лабораторные физико-химические методы исследования бетона*

В условиях стационарной лаборатории образцы неорганических строительных материалов исследуются методами рентгеновского фазового анализа, инфракрасной спектроскопии, термического анализа, определяется содержание летучих компонентов, воды, песка и других веществ [11]. Образцы для инструментальных исследований могут быть отобраны как из массива железобетонных конструкций (столбы, стены, перекрытия), так и с поверхностей, в том числе, имеющих отделку (облицовку) штукатуркой, кирпичом, огнезащитными покрытиями и пр.

Исследование методом инфракрасной спектроскопии бетонных конструкций позволяет получить сведения о наличии воды и ее структурных связях с твердым веществом, силикатных и сульфатных фаз, о степени теплового воздействия на образец.

Метод рентгенофазового анализа позволяет определить, на основе количественных показателей кристаллогидратов, изменения в бетоне после термического воздействия. Основная потеря массы образца на начальном этапе связана с испарением воды свободной и связанной (кристаллизационной) воды.

Использование методов термического анализа является перспективным направлением при исследовании бетонных изделий (конструкций), так как позволяет решать широкий перечень задач, связанных с исследованием свойств веществ и материалов после высокотемпературного воздействия [12].

### **Результаты исследования лабораторными методами и их обсуждение**

Данные методы исследования, помимо дифференциации степени термического воздействия и продолжительности нагрева бетонных конструкций, позволяют определять начало и степень разложения компонентов бетонной смеси, их соотношение и влияние на теплостойкость, выявлять наличие веществ, обладающих термической стойкостью, остаточную массу образца в зависимости от температуры и времени теплового воздействия и других параметров, влияющих на свойства материалов и их изменение во время и после пожара.

Данные методы анализа за счет простоты подготовки проб, использования малого количества вещества, вариативности в проведении экспериментов, быстрого получения информации, возможности автоматической обработки данных хорошо зарекомендовали себя и используются в экспертных учреждениях МЧС России и МВД России при производстве взрыво- и пожарно-технических исследований.

### **Заключение**

Использование обобщенных данных [13] по изменениям свойств компонентов бетонных (железобетонных) конструкций при расследовании пожаров, взрывов бытового газа и прочих техногенных происшествий требует дальнейшего научного исследования [14].

На основе рассмотренных в статье полевых методов в совокупности с соответствующими лабораторными исследованиями представляется целесообразным подготовить оптимальный алгоритм судебно-экспертного исследования мест взрыва, сопряженного с последующим пожаром в строениях на основе бетонных конструкций. Указанный алгоритм в дальнейшем возможно использовать как фрагмент методического обеспечения комплексной ситуационной взрывотехнической (пожарно-технической) судебной экспертизы вещной обстановки места взрыва (пожара).

### **Список источников**

1. Комплексное судебно-экспертное исследование следов и обстоятельств взрыва (экспертно-криминалистический и судебно-медицинский аспекты) / И.Ю. Макаров [и др.] // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 3-4. С. 130–134.
2. Дашко Л.В., Синюк В.Д., Ключников В.Ю. Техничко-криминалистическое обеспечение расследования пожаров в экспертно-криминалистических подразделениях системы МВД России // Судебная экспертиза Беларуси. 2017. № 1 (4). С. 63–68.
3. Исследование строительных материалов при производстве пожарно-технической экспертизы методом синхронного термического анализа / Л.В. Дашко [и др.] // Экспертная практика. 2013. № 76. С. 44–50.
4. Дашко Л.В., Плотникова Г.В., Гольчевский В.Ф. Экспертные пожарно-технические исследования строительных материалов зданий при установлении очага пожара // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России. 2014. № 4 (71). С. 61–67.

5. Каторов Д.В., Дашко Л.В. Криминалистическое исследование бутылок с зажигательной смесью // Судебная экспертиза Беларуси. 2017. № 2 (5). С. 58–64.
6. СП 329.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила обследования после пожара // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.12.2022).
7. ГОСТ 22690–88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 15.12.2022).
8. Методические рекомендации по оценке свойств бетона после пожара. М.: НИИЖБ ИТБ, 1985. 129 с.
9. Косарев Б.В., Кошмаров Ю.А., Кутуев Р.Х. Определение очаговых признаков пожара на бетонных и железобетонных конструкциях с помощью ультразвуковых волн // Проблемы пожарной безопасности зданий и сооружений: материалы X Всесоюзной науч.-практ. конф. М.:ВНИИПО МЧС России, 1990. 42 с.
10. Специальные инструментальные методы и средства обеспечения предварительного и экспертного исследования объектов пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / С.О. Шульгин [и др.]. М.: ГУ ЭКЦ МВД РФ, 2003. 96 с.
11. Дашко Л.В., Синюк В.Д. Научно-методическое обеспечение судебной пожарно-технической экспертизы в системе МВД России // Деятельность правоохранительных органов в современных условиях: сб. материалов XXVII Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск: ФГКОУ ВО ВСИ МВД России, 2022. С. 249–253.
12. Ключников В.Ю., Дашко Л.В. Экспертное исследование наиболее распространенных объектов пожарно-технической экспертизы с применением метода термического анализа: учеб. пособие. М.: ЭКЦ МВД России, 2013. 148 с.
13. Кудряшов В.А., Кураченко И.Ю. Аналитическая оценка несущей способности изгибаемых железобетонных конструкций после пожара // Судебная экспертиза Беларуси. 2018. № 1 (6). С. 56–60.
14. Кудряшов В.А., Кураченко И.Ю. Моделирование прогрева железобетонного монолитного перекрытия при огневых испытаниях в составе экспериментального фрагмента каркасного здания // Вестник университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т. 6. № 1. С. 17–41.

## References

1. Kompleksnoe sudebno-ekspertnoe issledovanie sledov i obstoyatel'stv vzryva (ekspertno-kriminalisticheskij i sudebno-medicinskij aspekty) / I.Yu. Makarov [i dr.] // Voprosy oboronnoj tekhniki. Ser. 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu. 2021. № 3–4. S. 130–134.
2. Dashko L.V., Sinyuk V.D., Klyuchnikov V.Yu. Tekhniko-kriminalisticheskoe obespechenie rassledovaniya pozharov v ekspertno-kriminalisticheskikh podrazdeleniyah sistemy MVD Rossii // Sudebnaya ekspertiza Belarusi. 2017. № 1 (4). S. 63–68.
3. Issledovanie stroitel'nyh materialov pri proizvodstve pozharno-tekhnicheskoj ekspertizy metodom sinhronnogo termicheskogo analiza / L.V. Dashko [i dr.] // Ekspertnaya praktika. 2013. № 76. S. 44–50.
4. Dashko L.V., Plotnikova G.V., Gol'chevskij V.F. Ekspertnye pozharno-tekhnicheskie issledovaniya stroitel'nyh materialov zdaniy pri ustanovlenii ochaga pozhara // Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta Ministerstva vnutrennih del Rossii. 2014. № 4 (71). S. 61–67.
5. Katorov D.V., Dashko L.V. Kriminalisticheskoe issledovanie butylok s zazhigatel'noj smes'yu // Sudebnaya ekspertiza Belarusi. 2017. № 2 (5). S. 58–64.
6. SP 329.1325800.2017. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya posle pozhara // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoj dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 19.12.2022).

7. GOST 22690–88. Betony. Opredelenie prochnosti mekhanicheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 15.12.2022).

8. Metodicheskie rekomendacii po ocenke svojstv betona posle pozhara. M.: NIIZHB ITB, 1985. 129 s.

9. Kosarev B.V., Koshmarov Yu.A., Kutuev R.H. Opredelenie ochagovyh priznakov pozhara na betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcijah s pomoshch'yu ul'trazvukovyh voln // Problemy pozharnoj bezopasnosti zdanij i sooruzhenij: materialy H Vsesoyuznoj nauch.-prakt. konf. M.: VNIPO MCHS Rossii, 1990. 42 s.

10. Special'nye instrumental'nye metody i sredstva obespecheniya predvaritel'nogo i ekspertnogo issledovaniya ob"ektov pozharo-tekhnicheskoy ekspertizy: ucheb. posobie / S.O. Shul'gin [i dr.]. M.: GU EKC MVD RF, 2003. 96 s.

11. Dashko L.V., Sinyuk V.D. Nauchno-metodicheskoe obespechenie sudebnoj pozharo-tekhnicheskoy ekspertizy v sisteme MVD Rossii // Deyatel'nost' pravoohranitel'nyh organov v sovremennyh usloviyah: sb. materialov XXVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Irkutsk: FGKOU VO VSI MVD Rossii, 2022. S. 249–253.

12. Klyuchnikov V.Yu., Dashko L.V. Ekspertnoe issledovanie naibolee rasprostranennyh ob"ektov pozharo-tekhnicheskoy ekspertizy s primeneniem metoda termicheskogo analiza: ucheb. posobie. M.: EKC MVD Rossii, 2013. 148 s.

13. Kudryashov V.A., Kurachenko I.Yu. Analiticheskaya ocenka nesushchej sposobnosti izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij posle pozhara // Sudebnaya ekspertiza Belarusi. 2018. № 1 (6). S. 56–60.

14. Kudryashov V.A., Kurachenko I.Yu. Modelirovanie progreva zhelezobetonnogo monolitnogo perekrytiya pri ognevyyh ispytaniyah v sostave eksperimental'nogo fragmenta karkasnogo zdaniya // Vestnik universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. 2022. T. 6. № 1. S. 17–41.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 16.01.2022; одобрена после рецензирования: 06.02.2023; принята к публикации: 21.02.2023.

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 16.01.2022; approved after review: 06.02.2023; accepted for publication: 21.02.2023.

*Информация об авторах:*

**Дашко Леонид Васильевич**, начальник отдела научных исследований по специальным видам экспертиз и экспертно-криминалистического обеспечения противодействия наркопреступности управления научных исследований Экспертно-криминалистического центра МВД России (125130, Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, д. 5), кандидат химических наук, e-mail: ldashko@mvd.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8320-9616>

**Синюк Вадим Дмитриевич**, старший эксперт отдела взрыво- и пожарно-технических экспертиз управления инженерно-технических экспертиз Экспертно-криминалистического центра МВД России (125130, Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, д. 5), e-mail: vsiniuk2@mvd.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2067-5614>

**Владимиров Владимир Юрьевич**, профессор кафедры управления органами расследования преступлений Академии управления МВД России (125171, Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, д. 8), доктор юридических наук, профессор, заслуженный юрист Российской Федерации, академик РАЕН, академик МАНЭБ, e-mail: veteran.fskn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7190-7011>

*Information about the authors:*

**Dashko Leonid V.**, head of research subdivision on special expertise and forensic support of countering of drug-related crimes of Forensic science center of the Ministry of internal affairs of Russia (125130, Moscow, Zoe and Alexander Kosmodemyanskiy str., 5), candidate of chemical sciences, e-mail: ldashko@mvd.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8320-9616>

**Sinyuk Vadim D.**, senior expert deputy head of fire & explosion subdivision of Forensic science center of the Ministry of internal affairs of Russia (125130, Moscow, Zoe and Alexander Kosmodemyanskiy str., 5), e-mail: vsiniuk2@mvd.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2067-5614>

**Vladimirov Vladimir Yu.**, professor at the department of management of bodies and units crimes' investigation of Management academy of the Ministry of internal affairs of Russia (125171, Moscow, Zoe and Alexander Kosmodemyanskiy str., 8), doctor of law, honored lawyer of the Russian Federation, academician of the Russian Academy of natural sciences, academician of International academy of environmental sciences, human safety and nature, e-mail: veteran.fskn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7190-7011>

---

---

# АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ТЕХНОСФЕРЕ»

---

---

К публикации принимаются исследовательские и обзорные аналитические статьи, отвечающие профилю журнала, представляющие результаты завершеного научного исследования, выполненного на актуальную тему, обладающие научной новизной, имеющие практическое значение и теоретическое обоснование, оформленные в соответствии с требованиями.

Статья не должна быть ранее опубликованной и не поданной для рассмотрения в другие журналы. Все статьи проходят проверку в системе «Антиплагиат».

Статьи **обучающихся магистратуры, курсантов и студентов** принимаются **только в соавторстве с научным руководителем**.

**1. Материалы** для публикации представляются в редакцию журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *заключением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – *заклучением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) статья аспиранта (адъюнкта) или соискателя помимо вышеуказанных документов должна сопровождаться *отзывом научного руководителя*;

г) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

д) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

**2. Статьи**, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь **объем** от **8** до **15** страниц.

**3.** Оригинальность статей должна быть **не менее 70 %**.

**4. Текст статьи должен быть обязательно структурирован по разделам:**

### **Введение**

В разделе «Введение» проводится анализ состояния исследуемой проблемы по публикациям отечественных и зарубежных источников, на основании которого обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи исследования.

### **Методы исследования**

В разделе описываются применяемые в работе методы исследования, приводятся сведения об объектах исследования, измерительном оборудовании, описываются условия экспериментов и т.д. Возможно указание ссылок на работы с более подробным изложением методов, однако приводимого описания должно быть достаточно для понимания хода исследования.

При использовании стандартных (или известных) методов и процедур лучше сделать ссылки на соответствующие источники, не забывая описать модификации стандартных методов, если таковые имелись. Если же используется собственный новый метод, описание которого нигде ранее не было опубликовано, важно привести все необходимые детали. Если ранее описание метода было опубликовано в известном журнале, можно ограничиться ссылкой.

Допускается и иное название раздела, обусловленное спецификой исследования и подготовленной на его основе статьи, например «Материалы и методы исследования», «Модели и методы исследования», «Теоретические основы и методы расчета».

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В разделе в логической последовательности излагаются результаты исследования, которые подтверждаются таблицами, графиками, рисунками. Здесь же проводится анализ и интерпретация полученных результатов, описываются выявленные закономерности, подтверждается достоверность результатов, проводится сопоставление собственных результатов с данными других исследователей.

### **Заключение**

В разделе излагаются основные выводы, подводится итог проделанной работы, обосновывается научная новизна полученных результатов, приводятся научно обоснованные рекомендации по их использованию, определяются основные направления дальнейших исследований в данной области.

Заключение содержит главные идеи основного текста статьи, но не должно повторять формулировок, приведенных в предыдущих разделах.

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников** (из которых **не менее 30 % зарубежных**).

**Для ОБЗОРНЫХ аналитических статей** допускается иная структура статьи:

1. Введение.
2. Аналитическая часть.
3. Заключение.

В разделе «Аналитическая часть» должен быть представлен критический анализ и критическое обобщение актуальной исследовательской проблемы по отечественным и зарубежным научным источникам (**не менее 25 источников**, из которых **не менее 50 % зарубежных**) с оценкой их научной новизны и оригинальности. Результаты критического анализа и обобщения должны быть подтверждены сравнительными таблицами, графиками, рисунками. В статье также должны быть отражены дискуссионные (проблематичные) вопросы.

Допускается разбиение разделов «Методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Аналитическая часть» на несколько логически связанных подразделов.

### **5. Оформление текста:**

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;  
б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, **интервал 1,5**, без переносов, в одну колонку, **все поля по 2 см**, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны: УДК (универсальная десятичная классификация), **на русском и английском языках** название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); ФИО авторов (**не более трех**); место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

*Требования к аннотации.* Аннотация должна быть краткой, информативной, содержать цель работы, методы исследования, основные положения и результаты исследования (излагаются основные результаты теоретических и/или экспериментальных

исследований, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности), выводы с обоснованием научной новизны результатов. Аннотация может включать и другую информацию, уместную с точки зрения авторов, например, рекомендации по применению полученных результатов. Примерный объем аннотации **100–250 слов**.

#### **6. Оформление формул в тексте:**

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

#### **7. Оформление рисунков и таблиц:**

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

#### **8. Оформление библиографии (списка литературы):**

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников**, для *обзорных* аналитических статей – **не менее 25 источников**.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок, для обзорных аналитических статей – не менее 50 %.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

#### *Правила оформления списка литературы:*

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

#### *Примеры оформления списка литературы:*

##### **Литература**

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза 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.*

**Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.**

**Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.**

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

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](mailto: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](mailto: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  
№ 1 (65)–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 31.03.2023. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. л. 26,25 Тираж 1000 экз. Зак. № 51

---

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149