

ISSN 1998-8990

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
В ТЕХНОСФЕРЕ**
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT
№ 3 (67)–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

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

Редакционная коллегия

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

Editorial council

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

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

- Ложкин В.Н., Смирнов А.С., Шарапов С.В.** Мониторинг дорожной безопасности в чрезвычайных условиях распространения смога торфяного пожара 8–16
- Дорошенко С.И., Нефедьев С.А., Малых В.А.** Разрушения пород и материалов зарядами на основе технологии ударно-волновой резки при чрезвычайных ситуациях .. 17–28
- Лоран Н.М., Калач А.В., Агеев П.М.** Современные тенденции в обеспечении безопасности перевозок морским транспортом 29–36
- Актерский Ю.Е., Смирнов А.С., Нефедьев С.А.** Снижение рисков чрезвычайных ситуаций на объектах объединенных учреждений Федеральной службы исполнения наказаний России 37–49
- Сысоева Т.П.** Особенности выбора беспилотной авиационной системы 50–59

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Долженков А.Ф., Лебедева В.В.** Критерии оценки огнезащитных свойств композиции на основе хлорсодержащего связующего 60–66
- Федотов И.О., Сивенков А.Б., Нагановский Ю.К.** Эффективность огнезащитных пропиточных составов для деревянных конструкций 67–78
- Андрюшкин А.Ю., Буцикин Е.Б., Кадочникова Е.Н.** Прогнозирование срока службы антикоррозионных покрытий металлических конструкций объектов переработки, хранения и транспортировки углеводородов 79–88
- Ивахнюк С.Г.** Исследование возможности идентификации термически измененных нефтепродуктов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа 89–95
- Тимошенко А.Л., Самигуллин Г.Х.** Критериальная модель оценки уровня пожарной опасности технологического оборудования водородной энергетики 96–105
- Печурин А.А., Преснов А.И., Маркова Н.Б.** Анализ систем дозирования пенообразователя в насосных агрегатах пожарных автомобилей: состояние, проблемы, технические решения 106–119
- Калач А.В., Головина Е.В., Крутолапов А.С.** Современные средства обеспечения огнезащиты стальных конструкций объектов нефтегазового комплекса 120–130
- Таранцев А.А., Матвеев А.В., Поташев Д.А., Шкитронов М.Е.** О моделировании каскадного развития чрезвычайных ситуаций при пожарах на подземных автостоянках . 131–140
- Сытдыков М.Р., Бруснянин Д.В., Иванов А.В.** Определение значимости технических параметров специальной защитной одежды пожарного при эксплуатации в условиях низких температур методом экспертной оценки 141–148
- Моторыгин Ю.Д., Топилкин П.С., Литовченко И.О.** Анализ возникновения и профилактика пожароопасных режимов в электросети автомобиля 149–157

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Ложкина О.В., Мальчиков К.Б.** Определение содержания поллютантов в отработавших газах судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 158–168
- Медведева Л.В., Макачук Г.В., Бранцевич Г.В.** Экспериментальная методика определения концентрации амидного азота в строительных материалах 169–180
- Савчук О.Н., Крейтор В.П., Троянов О.М.** О возможной радиационной аварии на атомном ледоколе и организации обеспечения безопасности спасателей МЧС России при ликвидации ее последствий 181–188

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

- Вахмистрова С.И., Раджабова Ф.Ф.** К вопросу об уголовной ответственности за нарушение требований охраны труда 189–195

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Киселева В.С. Разработка наномодифицированного огнетушащего состава для роботизированных установок пожаротушения на объектах транспортировки нефтепродуктов 196–203

Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере». 204

CONTENTS

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

Lozhkin V.N., Smirnov A.S., Sharapov S.V. Monitoring road safety under smog emergency peat fire 8–16

Doroshenko S.I., Nefedev S.A., Malykh V.A. Destruction of rocks and materials using ammunition based on shock-wave cutting technology in emergency situations 17–28

Loran N.M., Kalach A.V., Ageev P.M. Modern trends in ensuring the safety of transportation by sea 29–36

Akterskiy Yu.E., Smirnov A.S., Nefedev S.A. Reducing the risks of emergencies at the facilities of the united institutions Federal penitentiary service of Russia 37–49

Sysoeva T.P. Features of selection of unmanned aircraft system 50–59

FIRE SAFETY

Dolzhenkov A.F., Lebedeva V.V. Criteria for evaluating the fire-proof properties of composition based on chlorine-containing binding agent 60–66

Fedotov I.O., Sivenkov A.B., Naganovsky Yu.K. The effectiveness of flame retardant impregnating compounds for wooden structures 67–78

Andryushkin A.Yu., Butsikin E.B., Kadochnikova E.N. Forecasting the service life of anticorrosive coatings of metal structures of objects of processing, storage and transportation of hydrocarbons 79–88

Ivakhnyuk S.G. Investigation of the possibility of identifying thermally modified petroleum products by atomic emission spectral analysis 89–95

Timoshenko A.L., Samigullin G.Kh. Criteria model assessment of technological equipment fire hazard level in hydrogen power industry 96–105

Pechurin A.A., Presnov A.I., Markova N.B. Analysis of foam dosing systems in pump units of fire vehicles: status, problems, technical solutions 106–119

Kalach A.V., Golovina E.V., Krutolapov A.S. Modern means of ensuring fire protection of steel structures of oil and gas facilities 120–130

Tarantsev A.A., Matveev A.V., Potashev D.A., Shkitronov M.E. On modeling the cascade development of emergency situations during fire in underground parking 131–140

Sytdykov M.R., Brusyanin D.V., Ivanov A.V. Determination of the significance of the technical parameters of the special protective clothing of a firefighter during operation at low temperatures by the method of expert evaluation 141–148

Motorygin Yu.D., Topilkin P.S., Litovchenko I.O. Analysis of the occurrence and prevention of fire-hazardous modes in the car's electrical network 149–157

ENVIRONMENTAL SAFETY

Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Determination of the content of pollutants in the exhaust emissions of the YAMZ-238 GM2 ship engine 158–168

Medvedeva L.V., Makarchuk G.V., Brantsevich G.V. Experimental method of amide nitrogen concentration determining in construction materials 169–180

Savchuk O.N., Krejtor V.P., Troyanov O.M. On a possible radiation accident on a nuclear-powered icebreaker and organization of safety of rescuers of EMERCOM of Russia during liquidation of its consequences 181–188

LEGAL BASIS FOR ENSURING HUMAN AND SOCIAL SECURITY

Vakhmistrova S.I., Rajabova F.F. On the issue of criminal liability for violation of labor protection requirements 189–195

WORKS OF YOUNG SCIENTISTS

Kiseleva V.S. Development of a nanomodified fire extinguishing composition for robotized fire extinguishing installations at oil products transportation facilities 196–203

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. Официальный интернет-сайт научно-аналитического журнала: <http://journals.igps.ru>. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU

ISSN 1998-8990

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

Научная статья

УДК 656.13(1-21):621.43.06:504.3.064; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-8-16

МОНИТОРИНГ ДОРОЖНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СМОГА ТОРФЯНОГО ПОЖАРА

✉ Ложкин Владимир Николаевич;

Смирнов Алексей Сергеевич;

Шарапов Сергей Владимирович.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Аннотация. Исследуется физическое явление формирования смога от горящих торфяных болот и устойчивого загрязнения ими воздуха на автомобильной магистрали. Показано, что твердые частицы смога малых размеров PM_{10} и $PM_{2.5}$ способны, как на ядрах конденсации, создавать оптически плотные аэрозольные туманы и тем самым уменьшать дальность видимости на проезжей части до 50 и менее метров, существенно повышая риск дорожно-транспортных происшествий. Доказывается, что вместе с угарным газом СО смог насыщает воздух поллютантами до опасных значений концентраций, способных существенно ослабить рефлекторные реакции водителей на изменяющуюся дорожную обстановку. В комплексе это приводит к чрезвычайной ситуации, сопровождающейся транспортным коллапсом, требующим подключения сил и средств аварийного реагирования.

Ключевые слова: горящий болотный торф, смог, магистраль, безопасность движения, чрезвычайная ситуация

Для цитирования: Ложкин В.Н., Смирнов А.С., Шарапов С.В. Мониторинг дорожной безопасности в чрезвычайных условиях распространения смога торфяного пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 8–16. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-8-16.

Scientific article

MONITORING ROAD SAFETY UNDER SMOG EMERGENCY PEAT FIRE

✉ Lozhkin Vladimir N.;

Smirnov Aleksey S.;

Sharapov Sergey V.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Abstract. The physical phenomenon of smog formation from burning peat bogs and its persistent air pollution on the highway is investigated. It is shown that particulate smog particles of small sizes PM_{10} and $PM_{2.5}$ are capable, as on condensation nuclei, of creating optically dense aerosol fogs and, thereby, reducing the visibility range on the roadway to 50 meters or less, significantly increasing the risk of traffic accidents. It is proved that, together with carbon monoxide

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

CO, smog saturates the air with pollutants to dangerous concentrations that can significantly weaken the reflex reactions of drivers to changing traffic conditions. In combination, this leads to an emergency situation, accompanied by a transport collapse, requiring the involvement of forces and means of emergency response.

Keywords: burning bog peat, smog, highway, traffic safety, emergency

For citation: Lozhkin V.N., Smirnov A.S., Sharapov S.V. Monitoring road safety under smog emergency peat fire // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 8–16. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-8-16.

Состояние вопроса

Мониторинг и борьба с лесными пожарами являются одними из основных актуальных задач огнеборцев во всех странах мира [1–5]. В заболоченных регионах Российской Федерации особую опасность для населения представляют тлеющие торфяники, способные создавать чрезвычайные ситуации как в зимнее время [4], так и в летние засушливые периоды, часто сопутствуя лесным пожарам [5]. Крупные тлеющие торфяники при неблагоприятных метеорологических ситуациях могут создавать комплексное чрезвычайно-опасное воздействие, включая дорожно-транспортные происшествия с долговременным нарушением нормальной жизнедеятельности в регионе [4]. Зарубежными и отечественными учеными изучена физика появления и развития торфяных пожаров с математическим моделированием специфичного беспламенного горения углеводов болот [5]. По выходу из тлеющего болота с частицами аэрозольного дыма в атмосфере происходят трансформации, способствующие формированию оптически плотного токсичного «смога».

Исследуя поставленную в работе проблему связи аэрозольного смога тлеющего торфяника с дальностью видимости на магистрали и безопасностью движения, потребуется принимать во внимание вероятность появления тумана – плотной воздушной взвеси капель воды, образующихся на мелких частицах дымового аэрозоля тлеющего торфяника, как на «ядрах» конденсации. Этому явлению способствуют особые (неблагоприятные) метеоусловия в приземной тропосфере: слабый ветер, инверсии температуры. Физическая природа образования такого водно-аэрозольного смога применительно к загрязнению приземной тропосферы аэрозолем антропогенной природы в г. Дели (Индия) исследована в работе [6].

Индийские ученые обнаружили [6], что процессы образования и роста жидких капель на частицах аэрозоля в атмосферном воздухе, насыщенном водяным паром, происходят лавинообразно при достижении определенного «порога» – критических взаимозависимых значений температуры и парциального давления в воздухе насыщенного водяного пара. Ими было установлено, что явления образования и роста жидких капель в атмосферном воздухе являются конкурирующими процессами. Теоретические особенности конкуренции этих физических явлений, имеющих особое значение для понимания загрязнения атмосферы тлеющими торфяниками, описаны в той же работе [6]. Они зависят уже от предпочтительности роста, начиная с определенного критического размера, физической поверхности капель за счет выделения на ней конденсируемых из водяного газа/пара молекул воды.

Можно ожидать, что тлеющий торфяник выбросом в атмосферу частиц аэрозоля микронного размера, аналогично выбросу аэрозольных частиц в атмосферу от автотранспорта и промышленных предприятий в городах [4, 6, 7], при неблагоприятных метеоусловиях может инициировать процессы образования водно-аэрозольного смога или путем дополнительного повышения общей концентрации частиц усилить его токсическую опасность. На основании анализа результатов исследований работы [8] можно достоверно предположить, что повышение токсического действия поллютантов смога тлеющего торфяника способно ослабить рефлекторные реакции у водителей и совместно с уменьшением дальности обзора в замутненной аэрозолем воздушной среде над проезжей частью дороги (рис. 1) повысить риск дорожно-транспортных происшествий (ДТП).



Рис. 1. Картина замутнения воздуха на дороге смогом тлеющего торфяника [4]

В статье приведена математическая модель и методика расчетного мониторинга дорожной безопасности в чрезвычайных условиях распространения смога от тлеющего торфяника.

Методика исследования

Закономерности процессов распространения и накопления вблизи автомобильной дороги CO , PM_{10} , $PM_{2.5}$ смога от тлеющего торфяника моделируются оригинальным способом искусственных нейронных сетей с использованием Гауссиана как радиальной базисной функции [9]. Концентрация поллютанта C ($г/м^3$) в любой точке пространства над дорогой вблизи тлеющего торфяника при допущении нормального закона распределения определяется согласно уравнению:

$$C(t, x, y, z) = \frac{M \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(x-x_0-Ut)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t}\right)\right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}, \quad (1)$$

где x_0 , y_0 , z_0 – декартовы координаты тлеющего торфяника как источника выброса поллютанта, м, с интенсивностью M , г/с; U – скорость движения воздуха (ветра) в направлении оси Ox , м/с; σ_x , σ_y , σ_z – значения средних квадратичных отклонений для текущего времени t по осям координат Ox , Oy , Oz .

Применение принципа суперпозиции позволяет из уравнения (1) получить выражение для расчета концентрации поллютанта:

$$C(t, x, y, z) = \int_0^t \frac{M \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(x-x_0-Ut)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t}\right)\right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dt. \quad (2)$$

После перехода к кубатурным формулам с заменой интеграла конечной суммой:

$$C_n(t, x_i, y_i, z_i) = \sum_{i=1}^n R_i \frac{Q \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(x_i-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y_i-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z_i-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t}\right)\right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}, \quad (3)$$

где R_i – численный коэффициент; $x_i \in [0; t]$; (x_i, y_i, z_i) – точки, в которых производится интегрирование; $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$.

Настройка весов искусственной нейронной сети, а именно пропорционально и непропорционально входящих коэффициентов R_i и (x_i, y_i, z_i) в уравнение (3), производится путем минимизации значений итерационных вычислений по уравнению, именуемому в теории искусственных нейронных сетей «функционалом ошибки» по методике [9] для уточняющих наборов исходных параметров, например, скорости и направления движения воздуха. В качестве гетерогенных параметров, уточняющих («обучающих») модель (3), использовались как измерения газоанализаторами [9], так и данные расчетов по адекватным моделям [10, 11] распределения концентраций поллютантов в шлейфе облака смога тлеющего торфяника.

Для оценки дальности обзора на дороге в горизонтальной плоскости (L_o) в условиях «замутнения» воздушной среды обводненным аэрозолем [4] может быть использовано, например, эмпирическое выражение, полученное авторами [6] в ходе полевых измерений дальности видимости в городских условиях г. Дели (Индия) для частиц антропогенного аэрозоля в спектре размеров от 0,3 до 20 мкм:

$$C_{PM} = \alpha \cdot (L_o)^{-\beta}, \quad (4)$$

где C_{PM} – концентрация частиц аэрозоля в плотном смоговом тумане размера от 0,3 до 20 мкм, частиц/литр; $\alpha = 4 \cdot 10^8$, частиц/(литр·м); L_o – дальность обзора, м; $\beta = 0,77$. Соотношение (4) связывает концентрацию аэрозольных частиц с дальностью обзора в условиях возникновения плотного тумана.

В связи с тем, что при загрязнении воздуха на дороге тлеющим торфяником вероятно ожидать как появление туманов, так и их отсутствие, в настоящем исследовании для оценки дальности обзора на дороге в горизонтальной плоскости (L_o) была использована обобщенная формула *W. Traberta* [12]:

$$L_o = \alpha^* \cdot \frac{\rho}{q} \cdot r_e,$$

где α^* – постоянная величина, зависящая от распределения частиц по размеру в местах контроля их концентрации на дороге; q – концентрация частиц аэрозоля в воздухе над дорогой, г/м³; ρ – плотность массы частиц аэрозоля, г/м³; r_e – средний размер частицы аэрозоля в поперечнике, м.

Принимая во внимание, что загрязнение воздуха поллютантами тлеющего торфяника имеет риск острого воздействия на самочувствие водителей и, как следствие, ослабления рефлекторных реакций на дорожные опасности, оценки токсического влияния делались с использованием действующего Р 2.1.10.1920–04 «Руководства оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» по методике, отмеченной в публикации [4]. Анализ приказа МЧС России от 8 июля 2004 г. № 329 «Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях» позволяет рекомендовать порог наступления комплексной чрезвычайной опасности воздействия тлеющего торфяника на дорожную безопасность числовыми параметрами: 5 ПДК_{МР} поллютанта и обзорность дороги водителем 50 м.

Результаты исследования

Проверка адекватности и работоспособности подхода расчетного контроля дорожной безопасности осуществлялась по модельным сценариям развития чрезвычайных дорожных ситуаций от тлеющих торфяников, вероятных для заболоченного региона Иркутской обл. (табл. 1) [9].

Таблица 1

Характеристика сценариев для развития опасной дорожной ситуации от тлеющего торфяника

№ сценария / Исходные характеристики и условия	1	2
Опасные химические вещества	CO, PM _{2,5} , PM ₁₀	CO, PM _{2,5} , PM ₁₀
Направление ветра	На магистраль	На магистраль
Сила ветра	От 1 м/с до 2 м/с	От 0,5 м/с до 1 м/с
Расстояние до дороги	От 2 км до 5 км	От 2 км до 5 км
Поверхность тлеющего торфяника, га	<i>в пределах 20 га</i>	<i>в пределах 40 га</i>
Диапазон температур воздушной среды, °С	От -20 до -10 °С	От -20 до -10 °С
Физическая устойчивость стратифицированной атмосферы [11]	В пределах 180	В пределах 250
Скорость подъема дымового смога над поверхностью тлеющего торфяника	Менее 2,5 м/с	Менее 2,5 м/с
Средняя интенсивность эмиссии поллютантов тлеющим торфяником	По CO – 118 г/с; По PM _{2,5} – 16 г/с; По PM ₁₀ – 17 г/с	По CO – 252 г/с; По PM _{2,5} – 29 г/с; По PM ₁₀ – 38 г/с
Вероятность образования тумана	нет	да

В табл. 2 представлено предлагаемое ранжирование опасности дорожной ситуации к возникновению ДТП на дорогах при воздействии смога от горящего торфяника, а на рис. 2 – результаты в форме ГИС-карты численного эксперимента в окрестности автомобильной дороги ФАД Р-255 «Сибирь», проведенного с помощью математической модели (1–3) для концентрации оксида углерода CO (мг/м³) (с обучением модели по измерениям Росгидромета).

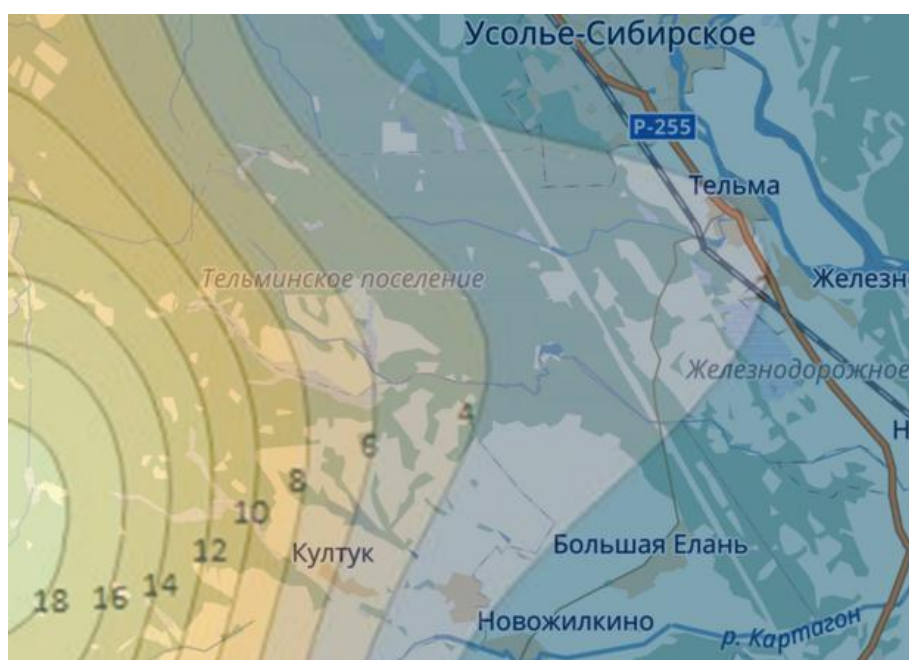


Рис. 2. ГИС-карта распределения концентрации CO (мг/м³) от тлеющего торфяника [9]

Таблица 2

Соотнесение дальности обзора к опасности ДТП

Ранжирование опасности ДТП в зависимости от дальности обзора на дороге					
Обзор, м	≥800	От 300 до 799	От 130 до 299	От 51 до 129	≤50
Ситуация	Допустимая	Удовлетворительная	Неудовлетворительная	Опасная	Чрезвычайно опасная

Из анализа результатов рис. 2 можно сделать вывод о том, что при метеорологических условиях для рассеяния в воздушной среде поллютантов, соответствующих согласно нормативному документу [11] «нормально неблагоприятным», санитарный уровень воздействия оксида углерода СО на водителей не превысит ПДК_{МР} = 5 мг/м³: в населенном пункте Тельма концентрация СО может приблизиться к значению 2 мг/м³; на других участках ФАД Р-255 «Сибирь», попадающих под влияние смога тлеющего торфяника, значения концентрации СО окажутся значительно меньше опасных величин.

Для других условий формирования и распространения смога от тлеющего торфяника согласно данным табл. 1 ситуация может оказаться чрезвычайно опасной (сценарий № 2, табл. 3): по РМ_{2,5} острота санитарно-гигиенического воздействия 0,788 [4, 9]; по обзорности дороги – 18 м [4].

Таблица 3

Оценка комплексных рисков от поллютантов и от ограничения обзорности на дороге для водителей по опасности ДТП [4, 9]

Показатель риска ЧС	№ сценария	Поселок «Тельма»
По СО	1	0,001
	2	0,067
По РМ _{2,5}	1	0,001
	2	0,788
По РМ ₁₀	1	0,001
	2	0,5
По обзорности дороги, м	1	538
	2	18

Критический анализ расчетных данных, указанных в табл. 3, позволяет сделать вывод о том, что при вероятных для данного региона Российской Федерации климатических и метеорологических аномально неблагоприятных условиях в сочетании с мощными выбросами поллютантов СО, РМ_{2,5}, РМ₁₀ от тлеющего торфяника и образования в приземной тропосфере над дорогой плотного тумана визуально контролируемый водителем обзор дороги может сократиться до 18 м и менее. При сохранении таких экстремально неблагоприятных, по природе гетерогенных, факторов на несколько часов и дней в условиях интенсивного движения (как сейчас принято говорить «трафика») вероятно ожидание ДТП и, возможно, чрезвычайного транспортного коллапса [4, 9].

Заключение

Предлагаемая методика расчетного мониторинга и прогнозирования риска ДТП от тлеющих торфяников на автомобильных дорогах с интенсивным «трафиком», основанная на оригинальном подходе искусственной нейронной сети, получаемой и обучаемой одновременно с использованием апробированных фундаментальных представлений о рассеянии поллютантов в стратифицированной тропосфере и данных непосредственных измерений их концентраций, прошла адаптацию с подтверждением работоспособности применительно к реальным и гипотетически вероятным сценариям развития чрезвычайных ситуаций на автомобильных дорогах, включая сценарий образования смога в условиях продолжительных туманов.

Авторы выражают благодарность кандидату технических наук В.Д. Тимофееву за предоставление расчетно-аналитических материалов, критический анализ которых позволил внести методические уточнения в совместно разработанный подход прогноза влияния поллютантов тлеющих торфяников на риск возникновения ДТП.

Список источников

1. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air pollution and health // eBook, Springer, XXIII. 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
2. Public values for integration in natural disaster management and planning: A case study from Victoria, Australia / A. Rawluk [et al.] // J. Environ. Manage. 2017. Vol. 185. P. 11–20.
3. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
4. Ложкин В.Н. Моделирование опасного для населения воздействия торфяного пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 3. С. 16–19. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.25.88.005.
5. On physical and mathematical modeling of the initiation and propagation of peat fires / A.M. Grishin [et al.] // Inzh.-Fiz. Zh. 2009. Vol. 82. № 6. P. 1210–1217.
6. Manju M., Swagata P. Aerosol number concentrations and visibility during dense fog over a subtropical urban site // Journal of nanomaterials. Vol. 2014. Article ID 495457. DOI: 10.1155/2014/495457.
7. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models // Transportation Research Part D. Transport and Environment. 2015. № 36. P. 178–189. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.
8. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso // Cogent medicine. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
9. Нейросетевой подход в решении задач прогнозирования загрязнения воздуха торфяным пожаром / В.Д. Тимофеев [и др.] // Нейрокомпьютеры и их применение: материалы XV Всерос. науч. конф. М.: ФГБОУ ВО МГППУ, 2017. С. 104–106.
10. Берлянд М.Е., Генихович Е.Л., Оникул Р.И. Моделирование загрязнения атмосферы выбросами из низких и холодных источников // Метеорология и гидрология. 1990. № 5. С. 5–16.
11. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Минприроды России от 6 июня 2017 г. № 273. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456074826> (дата обращения: 17.05.2023).
12. Kampe H.J., Weickmann H.K. Traberts's formula and the determination of the water content in clouds // Journal of meteorology. 1952. Vol. 9. P. 167–171.

References

1. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air pollution and health // eBook, Springer, XXIII. 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
2. Public values for integration in natural disaster management and planning: A case study from Victoria, Australia / A. Rawluk [et al.] // *J. Environ. Manage.* 2017. Vol. 185. P. 11–20.
3. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
4. Lozhkin V.N. Modelirovanie opasnogo dlya naseleniya vozdeystviya torfyanogo pozhara // *Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik.* 2022. № 3. С. 16–19. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.25.88.005.
5. On physical and mathematical modeling of the initiation and propagation of peat fires / A.M. Grishin [et al.] // *Inzh.-Fiz. Zh.* 2009. Vol. 82. № 6. P. 1210–1217.
6. Manju M., Swagata P. Aerosol number concentrations and visibility during dense fog over a subtropical urban site // *Journal of nanomaterials.* Vol. 2014. Article ID 495457. DOI: 10.1155/2014/495457.
7. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models // *Transportation Research Part D. Transport and Environment.* 2015. № 36. P. 178–189. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.
8. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso // *Cogent medicine.* 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
9. Nejrosetevoj podhod v reshenii zadach prognozirovaniya zagryazneniya vozduha torfyanym pozharom / V.D. Timofeev [i dr.] // *Nejrokompyutery i ih primenenie: materialy XV Vseros. nauch. konf. M.: FGBOU VO MGPPU, 2017. С. 104–106.*
10. Berlyand M.E., Genihovich E.L., Onikul R.I. Modelirovanie zagryazneniya atmosfery vybrosami iz nizkih i holodnyh istochnikov // *Meteorologiya i gidrologiya.* 1990. № 5. S. 5–16.
11. Ob utverzhdenii metodov raschetov rasseivaniya vybrosov vrednyh (zagryaznyayushchih) veshchestv v atmosfernom vozduhe: prikaz Minprirody Rossii ot 6 iyunya 2017 g. № 273. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456074826> (data obrashcheniya: 17.05.2023).
12. Kampe H.J., Weickmann H.K. Traberts`s formula and the determination of the water content in clouds // *Journal of meteorology.* 1952. Vol. 9. P. 167–171.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.07.2023; одобрена после рецензирования: 11.07.2023; принята к публикации: 14.07.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 05.07.2023; approved after review: 11.07.2023; accepted for publication: 14.07.2023

Информация об авторах:

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, заслуженный деятель науки Российской Федерации, e-mail: vnlojkin@yandex.ru, SPIN-код: 9496-2451

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>, SPIN-код: 1677-1402

Шарапов Сергей Владимирович, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: shcsv@mail.ru, SPIN-код: 7386-9524

Information about the authors:

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, Honored scientist of the Russian Federation, e-mail: vnlojkin@yandex.ru, SPIN: 9496-2451

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>, SPIN: 1677-1402

Sharapov Sergey V., professor of the department of criminalistics and engineering expertise 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: shcsv@mail.ru, SPIN: 7386-9524

Научная статья

УДК 550.344; 550.348; 622.235; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-17-28

РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД И МАТЕРИАЛОВ ЗАРЯДАМИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ РЕЗКИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

✉ **Дорошенко Станислав Иванович;**

Нефедьев Сергей Аркадьевич.

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

Малых Вадим Александрович.

АО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург, Россия

✉ stasdoroshenko@mail.ru

Аннотация. Оценивается эффективность применения технологии ударно-волновой резки горных пород и материалов. Приводится сравнение технологий ударно-волновой и кумулятивной резки материалов. Показано существенное сокращение расхода взрывчатого вещества и повышение эффективности при ударно-волновой резке с одновременным снижением безопасных расстояний. Решение задач подводных взрывов в интересах спасательных работ при чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: ударно-волновой заряд, билинейный заряд, математическая модель, волна Маха, эксперимент, горная порода, бетонный блок, подводный взрыв

Для цитирования: Дорошенко С.И., Нефедьев С.А., Малых В.А. Разрушения пород и материалов зарядами на основе технологии ударно-волновой резки при чрезвычайных ситуациях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 17–28. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-17-28.

Scientific article

DESTRUCTION OF ROCKS AND MATERIALS USING AMMUNITION BASED ON SHOCK-WAVE CUTTING TECHNOLOGY IN EMERGENCY SITUATIONS

✉ **Doroshenko Stanislav I.;**

Nefedev Sergey A.

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

Malykh Vadim A.

JSC «RPE» Radar mms», Saint-Petersburg, Russia

✉ stasdoroshenko@mail.ru

Abstract. The paper assesses the effectiveness of shock-wave technology cutting for rocks and materials. A comparison of materials cutting technologies using a shock-wave and a shaped charge is done. Shows a significant reduction in the consumption of explosives and an increase in efficiency in shock-wave cutting with a simultaneous reduction in safe distances. Solving the problems of underwater explosions in the interests of rescue operations in emergency situations.

Keywords: shock-wave charge, bilinear charge, mathematical model, Mach wave, experiment, rock, concrete block, underwater explosion

For citation: Doroshenko S.I., Nefedev S.A., Malykh V.A. Destruction of rocks and materials using ammunition based on shock-wave cutting technology in emergency situations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 17–28. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-17-28.

Введение

В России, как и во всем мире, нарастает озабоченность в связи с возрастающим количеством чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, увеличением их масштабов, ростом потерь и ущерба от них. Складывающаяся обстановка требует принятия мер по совершенствованию управления безопасностью и развитию новых решений насущных задач. Ограниченные сроки аварийно-спасательных работ определяют необходимость широкого использования энергии взрыва, которая способна быстро выполнить большой объем данных работ, что создает условия для сокращения их общих сроков и стоимости.

Эффективность выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ связана с наличием в структуре МЧС России надежной системы применения взрыва в ЧС в комплексе с технологиями и безопасностью. При выборе рациональных и эффективных параметров и технологии производства взрывных работ требуется прогноз воздействия ударных и сейсмических волн взрыва, дальность разлета фрагментов взорванных конструкций, разработка способов по снижению вредных эффектов взрыва.

Для выполнения взрывных работ в промышленном комплексе страны имеется довольно широкая линейка взрывчатых веществ (ВВ) и зарядов, проработаны технологии их применения с учетом требований взрывобезопасности. Но российская наука не стоит на месте, и в развитии взрывных технологий появились новые ВВ, средства инициирования и новые технологии, воплощенные в новые заряды. Такому инновационному методу – ударно-волновой резке взрывом – посвящена эта работа. Ее инструментом является заряд ударно-волновой резки (ЗУВР), который в разы превосходит качества зарядов, имеющиеся в промышленности, а в отдельных случаях – не имеет равных.

1. Теоретические основы технологии ударно-волновой резки

В настоящее время основным средством резки материалов и пород взрывом являются кумулятивные заряды (КЗ). При резке большой толщины значительно увеличивается масса КЗ, что требует применения специальных дорогостоящих мер защиты окружающей среды и объектов от действия взрыва. Более эффективно использование технологии ударно-волновой резки.

1.1. Конструкция ударно-волнового заряда (УВЗ)

В отличие от кумулятивной, ударно-волновая резка основана на использовании экстремальных (Маховских) режимов интерференции ударных волн, образованных при синхронной детонации параллельных зарядов на поверхности преграды [1–3].

В результате теоретических и экспериментальных исследований в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова) с участием специалистов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России разработана конструкция УВЗ [3–6], которая представлена на рис. 1.

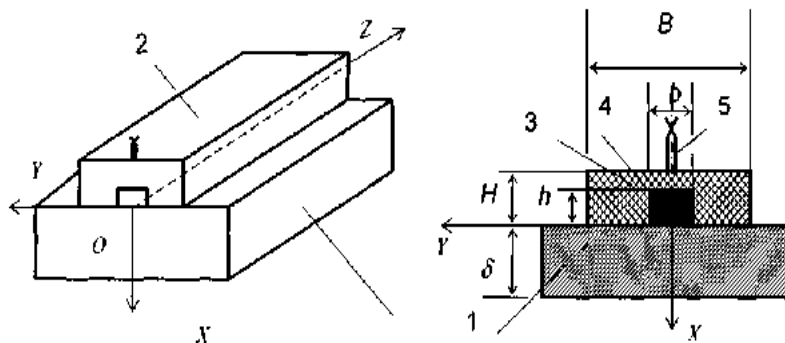


Рис. 1. Конструкция ударно-волнового заряда: 1 – преграда (металл); 2 – УВЗ; 3 – ВВ; 4 – сердечник-линза; 5 – детонатор

1.2. Математическая модель УВЗ

Для совершенствования технологии ударно-волновой резки проведены теоретические исследования разрушения преград импловзивными (симметрично сходящимися) ударными волнами. Разработаны физические и математические модели, описываемые системами уравнений (1), (2).

Основные уравнения движения сплошной среды:

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{dE}{dx} + \frac{dF}{dy} = 0 \quad . \quad (1)$$

$$Q = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ e \end{pmatrix}; \quad E(Q) = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho uv \\ (e + p)u \end{pmatrix}; \quad F(Q) = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 + p \\ (e + p)v \end{pmatrix}.$$

$$e = \rho \varepsilon + \frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2).$$

Уравнение внутренней энергии и уравнение состояния:

$$\varepsilon(\rho, T) = \varepsilon_x(\rho) + \varepsilon_T(\rho, T); \quad p(\rho, T) = p_x(\rho) + \rho \gamma(\rho) c_v T, \quad (2)$$

где

$$\gamma(\rho) = \gamma_0 - \gamma_1 \frac{\rho}{\rho_0}.$$

Разрушение происходит в результате разгрузки материала за фронтом волны Маха и позволяет эффективно резать преграды толщиной до 1 500 мм и более.

2. Практический опыт применения ЗУВР

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова разработан технический проект, и совместно со «Специальным конструкторско-технологическим бюро «Технолог» (ФГУП СКТБ «Технолог») на защитных сооружениях Санкт-Петербурга выполнено с помощью ЗУВР обрушение транспортного моста весом $\approx 2\,000$ т. Результаты до и после показаны на рис. 2.



Рис. 2. Обрушение транспортного моста с применением ЗУВР:
а) мост до разрушения; б) мост после разрушения

Демонстрационные испытания ЗУВР для Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ) выполнялись на 18 испытательном полигоне инженерных войск (ИВ) (пос. Елизаветинка) по программе и методике, утвержденным командованием ИВ ВС РФ. В ходе работ были проведены сравнительные подрывы ЗУВР и инженерных кумулятивных зарядов (рис. 3, 4). Преграды соответствовали предельным характеристикам по пробивной способности кумулятивных зарядов. В результате работ получены сравнительные показатели (табл. 1, 2).



Рис. 3. Примеры выполнения работ по резке стального листа 13 мм фигурным ЗУВР

Таблица 1

Сравнительные показатели для кумулятивных зарядов и ЗУВР

Заряды	КЗУ-2	УМКЗ	СЗ-1Э	ЗУВР
Удельный расход, г/см ²	118,2	68,4	7,7	2,9
Уменьшение массы ЗУВР	в 40,8 раз	в 23,6 раз	3,7 раз	–



Рис. 4. Перебитие бетонного блока толщиной 520 мм с помощью ЗУВР

Таблица 2

Сравнительные показатели для кумулятивного заряда и ЗУВР

Заряды	ЛКЗ-80	КЗУ	ЗУВР
Удельный расход, г/см ²	1,2	4,6	0,1
Уменьшение массы ЗУВР	в 12 раз	в 46 раз	–

На острове Новая Земля инженерной службой 6 армии Военно-воздушных сил и противовоздушной обороны по методике БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова выполнено взрывное обрушение аварийной стрелы подъемного крана высотой 80 м (рис. 5), при этом официально установлен рекорд России № 00828. Применение ЗУВР позволило снять риски ЧС в порту «Новая Земля» от воздействия ударных волн и осколочного воздействия на работу коммуникаций и боеготовность порта в целом.



Рис. 5. Обрушение стрелы крана с применением ЗУВР

Примерами выполнения экспериментальных работ с применением импловзивных ударных волн взрыва приведены на рис. 6–8. Технология позволяет вести взрывные работы в стесненных условиях и пожароопасных объектах. Снижение массы заряда на метр реза конструкций и отсутствие запреградного действия повышает безопасность взрывных работ.



Рис. 6. Разрушение конструкции самолета с применением ЗУВР



Рис. 7. Разрушение трака бронированной машины с применением ЗУВР

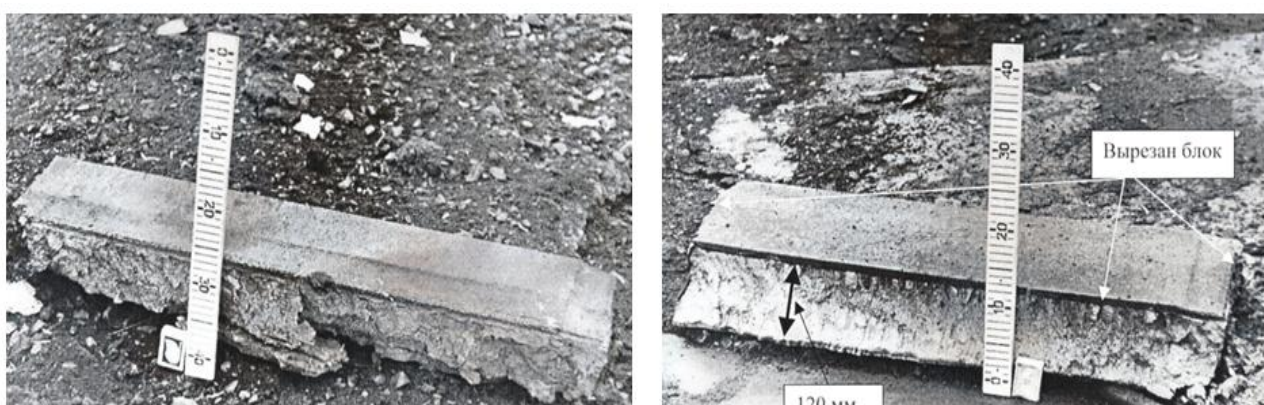


Рис. 8. Разделка металлоконструкции с применением ЗУВР

В ходе испытаний зарядом ЗУВР под водой было вырезано отверстие в стальной трубе. Длина реза составила 2 400 мм. Расход ВВ составил 600 г. На рис. 9 представлен образец, полученный после применения ЗУВР под водой, толщина стенки трубы – 10 мм.



Рис. 9. Разрушение (резка) стальной трубы под водой

3. Сравнение с аналогами промышленных образцов

В промышленности имеются линейка шнуровых кумулятивных зарядов (табл. 3) [9] от производителей ФГУП «ГосНИИ «Кристал» (г. Дзержинск) и ФГУП «СКТБ «Технолог» (Санкт-Петербург).

Заряды представляют собой эластичные шнуры с продольной параболической кумулятивной выемкой, облицованной металлопластиком. Металлопласт применяется для облицовки вещества на полимерной основе, содержащее значительное (до 85 %) порошкообразного железа, а также и ВВ, обладающее свойством эластичности, представлен на рис. 10 а, на рис. 10 б показан вариант дополнительного приспособления для инициирования заряда.

Таблица 3

Основные характеристики промышленных зарядов для резки конструкций

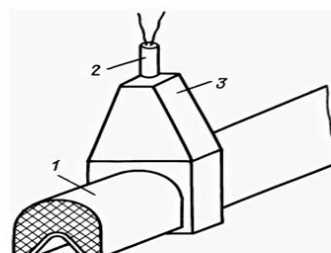
Тип заряда	Масса ВВ, кг	Размеры, мм			Эффективность действия		
		длина	высота	ширина	сталь	алюминий	ж/б
Алмаз-4	15 г/м	5 500	4	5	2 мм	4 мм	по дереву – 20 мм
Алмаз-8	45 г/м	3 000	8	9	5 мм	по дереву – 50 мм	
ШКЗ-1	65±15 г/м	1–30 м	∅9±1,5	ВВ – Г	4	8	
ШКЗ-2	130±20 г/м	1–30 м	∅13±1,5	– « –	7	14	
ШКЗ-3	240±25 г/м	1–30 м	∅17±1,5	– « –	11	22	
ШКЗ-4	340±30 г/м	1–30 м	∅21±2,0	– « –	15	30	
ШКЗ-5	520±35 г/м	1–30 м	∅26±2,0	– « –	19	28	
ШКЗ-6	730±40 г/м	1–30 м	∅32±2,5	– « –	25	50	

Основными техническими недостатками способа резки шнуровыми зарядами:

- способ не позволяет осуществить резку крупногабаритных толстостенных конструкций с толщиной стенки 30–100 мм и более;
- способ и заряд не позволяет осуществить резку с высоким качеством поверхности реза для последующего монтажа и сварки;
- способ и заряд не позволяет осуществить резку под водой;
- установка зарядов на конструкцию требует дополнительных приспособлений для выдерживания фокусных расстояний, обеспечивающих устойчивое формирование струйных течений в теле преграды и, чем больше калибр применяемого заряда, тем сложнее решается задача;
- требуется дополнительное устройство для гарантированного инициирования.



а)



б)

Рис. 10. а – ШКЗ; б – вариант дополнительного приспособления для инициирования заряда ШКЗ: 1 – заряд ШКЗ; 2 - промежуточный заряд ВВ в корпусе; 3 – электродетонатор

Заряды производятся из эластичного ВВ на основе гексогена, но конструктивные характеристики и состав ВВ более сбалансирован в зарядах «Алмаз» производителя ФГУП «СКТБ «Технолог», где в качестве ВВ применен «Эластит 15». В сравнении «Алмаз-8» и ШКЗ-1 при равных габаритах работоспособность «Алмаз-8» выше на 20–25 % при одновременном снижении массы ВВ 25–30 %. В зарядах ЗУВР и применено ВВ «Эластит 15» ТУ 7276-418-05121441-201.

Основные проблемы шнуровых зарядов решены в способе с применением имплозивных ударных волн взрыва, где в качестве инструмента используется ЗУВР.

Производство ЗУВР освоено ФГУП «СКТБ «Технолог» (Санкт-Петербург) [7, 8]. Заряды выпускаются в двух типоразмерах согласно ТУ 20.51.12-001-02066374-2020. Заряды рассчитаны на разрушение 10 мм и 30 мм конструкционной стали, проходят этап контрольных и приемочных испытаний для разрешения на постоянное применение в соответствии со ст. 3 Технического регламента Таможенного союза 028/2012 и ст. 6 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности от 3 декабря 2020 г. № 494 [9, 10].

Удлиненный заряд ВВ ЗУВР (рис. 11) выполнен в форме монолитного желоба, полость которого симметрична оси и заполнена инертной вставкой, со стороны, противоположной стороне с полостью, выполнены скругления краевых частей и канавка с возможностью размещения детонирующего шнура, канавка выполнена с закраинами с возможностью фиксации в канавке детонирующего шнура, при этом кратчайшее расстояние между противоположными краями закраин меньше диаметра детонирующего шнура (ДШ). При этом инертная вставка выполнена с магнитным материалом (виниловый магнит), что позволяет ЗУВР крепить к ферромагнитной преграде без лишних приспособлений. Наличие канавки обеспечивает удобную установку детонатора и надежное инициирование заряда, а в фигурных зарядах повышает надежность передачи детонации с применением ДШ. ДШ, специально изготовленный из высокоскоростного ВВ, также поставляется в комплекте. В сумме используемые технические решения обеспечивают высокую технологичность ведения взрывных работ, надежность и качество.

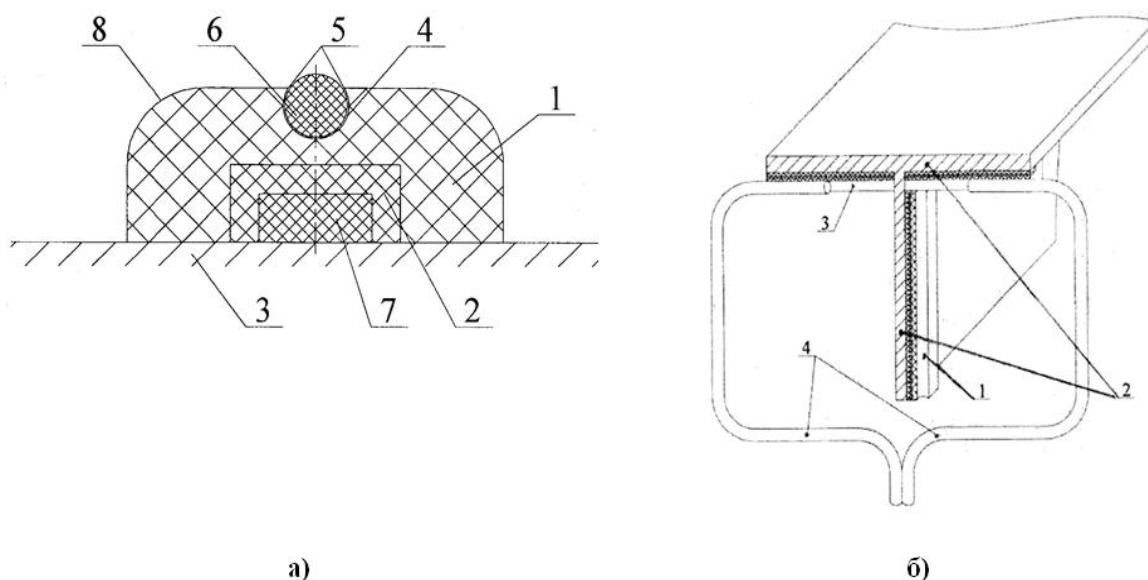


Рис. 11. а – ЗУВР: 1 – ВВ «Эластит-15»; 2 – инертная вставка; 3 – преграда; 4 – канавка; 5 – закраины для фиксации детонатора и ДШ; 6 – ДШ; 7 – виниловый магнит; 8 – скругления в краевых частях; б – вариант крепления ЗУВР на конструкции: 1, 3 – ЗУВР; 2 – металлоконструкция; 4 – ДШ

Из представленных испытаний наглядно видны преимущества резки (разрушений) преград, материалов с применением ЗУВР: значительно снижен расход ВВ, снижено воздействие ударных волн, практически отсутствует запреградное действие взрыва, значительно улучшена технология применения по сравнению с шнуровыми зарядами и расширена область применения, все это положительно скажется на спасательных работах при ЧС.

Но самое большое достоинство способа – возможность выполнения взрывных работ под водой, на глубинах до 6 000 м, аналогов для работы под водой нет.

Заключение

В качестве выводов можно отметить, что резка с помощью ЗУВР по сравнению с резкой другими видами зарядов обладает рядом преимуществ, которые могут быть использованы в интересах решения задач при ЧС:

- имеет расход ВВ в 2 ... 6 раз ниже при разрушении стальных конструкций большой толщины (до 200 мм и более);
- не изменяет структуру и состав металла в области разрушения;
- исключает образование высокоскоростных осколков и обладает минимальным запреградным воздействием ударных волн при оптимальной (минимально-возможной) величине заряда;
- допускает работу с преградами, имеющими сложный рельеф поверхности (шар, конус, цилиндр и их производные) с минимальным радиусом кривизны благодаря небольшому сечению и выбору эластичного материала заряда ВВ;
- допускает работу под водой, в том числе на глубинах до 6 000 м;
- допускает работу как с готовыми (заводскими) ЗУВР, так и изготовление зарядов необходимого размера и формы из штатных пластичных ВВ на месте производства работ, без применения специального оборудования;
- ударно-волновая резка пород с использованием билинейных зарядов, реализующих резку волнами Маха, позволит существенно снизить расход взрывчатых материалов и время проведения работ;
- технологичность и простота применения, не требует дополнительного оборудования, что обеспечивает высокий темп выполнения задач.

Список источников

1. Физика взрыва: в 2-х т. / под. ред. Л.П. Орленко. 3-е изд., перераб. М., 2004.
2. Михайлов Н.П. Основы математического моделирования процессов взрыва и удара: учеб. СПб.: Балт. техн. гос. ун-т, 2012. 202 с.
3. К вопросу эффективной ликвидации ЧС природного характера на основе инновационных технологий ударно-волновой резки / С.И. Дорошенко [и др.] // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междун. уч. Воронеж, 2014. С. 241-244.
4. Михайлов Н.П., Дорошенко С.И., Бригадин И.В. Совершенствование технологии резки, сварки и упрочнения металлов // Взрывное дело. 2013. № 109/67. С. 101–117.
5. Ударно-волновая резка массивных стальных конструкций / Н.П. Михайлов [и др.] // Вопросы оборонной техники. 2012. № 5-6. С. 55–60.
6. Развитие технологии разрушения пород импловивными ударными волнами / Н.П. Михайлов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. С. 313–320.
7. Заряд для разрезания твердых материалов: пат. 2701600 Рос. Федерация: МПК В21D 26/08 В26F 3/00 F42B 1/00 F42B 3/08; патентообладатель Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (БГТУ «ВОЕНМЕХ») (RU); заявл. 03.07.2017; опубл. 30.09.2019;

8. Удлиненный заряд взрывчатого вещества: пат. 204402 Рос. Федерация: МПК F42B 1/04 F42B 3/093 B21D 26/08 B26F 3/00; заявл. 19.05.2020; опубл. 24.05.2020; авторы и патентообладатели: Дорошенко С.И. и др.

9. Управление взрывом средства взрывания. Взрывобезопасность: учеб. пособие / С.И. Дорошенко [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 100 с.

10. Взрыв и взрывные явления, взрывчатые вещества и взрывные устройства. Взрывобезопасность: учеб. пособие / С.И. Дорошенко [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 100 с.

References

1. Fizika vzryva: v 2-h t. / pod. red. L.P. Orlenko. 3-e izd., pererab. M., 2004.

2. Mihajlov N.P. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya processov vzryva i udara: ucheb. SPb.: Balt. tekhn. gos. un-t, 2012. 202 s.

3. K voprosu effektivnoj likvidacii CHS prirodnoho haraktera na osnove innovacionnyh tekhnologij udarno-volnovoj rezki / S.I. Doroshenko [i dr.] // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij: materialy III Vseros. nauch.-prakt. konf. s Mezhdun. uch. Voronezh, 2014. S. 241–244.

4. Mihajlov N.P., Doroshenko S.I. Brigadin I.V. Sovershenstvovanie tekhnologii rezki, svarki i uprochneniya metallov // Vzryvnoe delo. 2013. № 109/67. S. 101–117.

5. Udarno-volnovaya rezka massivnyh stal'nyh konstrukcij / N.P. Mihajlov [i dr.] // Voprosy oboronnoj tekhniki. 2012. № 5-6. S. 55–60.

6. Razvitie tekhnologii razrusheniya porod implozivnymi udarnymi volnami / N.P. Mihajlov [i dr.] // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. S. 313–320.

7. Zaryad dlya razrezaniya tverdyh materialov: pat. 2701600 Ros. Federaciya: MPK B21D 26/08 B26F 3/00 F42B 1/00 F42B 3/08; patentoobladatel' Baltijskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet «VOENMEKH» im. D.F. Ustinova (BGTU «VOENMEKH») (RU); zayavl. 03.07.2017; opubl. 30.09.2019;

8. Udlinennyj zaryad vzryvchatogo veshchestva: pat. 204402 Ros. Federaciya: MPK F42B 1/04 F42B 3/093 B21D 26/08 B26F 3/00; zayavl. 19.05.2020; opubl. 24.05.2020; avtory i patentoobladateli: Doroshenko S.I. i dr.

9. Upravlenie vzryvom sredstva vzryvaniya. Vzryvobezopasnost': ucheb. posobie / S.I. Doroshenko [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 100 s.

10. Vzryv i vzryvnye yavleniya, vzryvchatye veshchestva i vzryvnye ustrojstva. Vzryvobezopasnost': ucheb. posobie / S.I. Doroshenko [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 100 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 23.05.2023; одобрена после рецензирования: 22.08.2023;
принята к публикации: 28.08.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 23.05.2023; approved after review: 22.08.2023;
accepted for publication: 28.08.2023

Информация об авторах:

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, заслуженный военный специалист Российской Федерации, Лауреат Государственной премии им. Г.К. Жукова, e-mail: stasdoroshenko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7191-1439>, SPIN-код: 3130-8841

Нефедьев Сергей Аркадьевич, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: doktorsan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2299-4638>, SPIN-код: 8084-2125

Малых Вадим Александрович, инженер-конструктор АО «НПП «Радар ммс» (197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 37, лит. А), e-mail: malyh_@radar-mms.com, <https://orcid.org/0009-0002-9096-1608>

Information about the authors:

Doroshenko Stanislav I., associate professor of the department of mining 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, Honored military specialist of the Russian Federation, Laureate of the G.K. Zhukov State Prize, e-mail: stasdoroshenko@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7191-1439>, SPIN: 3130-8841

Nefedev Sergey A., professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: doktorsan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2299-4638>, SPIN: 8084-2125

Malykh Vadim A., design engineer of JSC «RPE» Radar mms» (197375, Saint-Petersburg, Novoselkovskaya str., 37, let. A), e-mail: malyh_@radar-mms.com, <https://orcid.org/0009-0002-9096-1608>

Научная статья

УДК 629.543: 656.61; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-29-36

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОК МОРСКИМ ТРАНСПОРТОМ

Лоран Николай Михайлович.

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия.

✉ **Калач Андрей Владимирович.**

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия.

Агеев Павел Михайлович.

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

✉ a_kalach@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты анализа и обобщения данных о безопасности морской техники при мореплавании в период с 2012 по 2021 гг. Особое внимание при анализе данных было уделено частоте возникновения чрезвычайных ситуаций на различных объектах морской техники. Для выявления современных тенденций обеспечения безопасности при транспортировке грузов использовали данные Allianz Global Corporate & Specialty's. Установлено, что три основные причины потери морской техники (85 % всех потерь) за последнее десятилетие включают чрезвычайные ситуации, связанные с затоплением (~55 %), посадкой на мель (~20 %), возникновение пожаров и взрывов (~10 %). Показано, что наибольшие потери морских судов в результате чрезвычайных ситуаций (аварий) характерны для акваторий Южного Китая, Индокитая, Индонезии и Филиппин. Проведенный анализ и обобщение статических данных о состоянии безопасности мореплавания позволили выявить современные тенденции в сфере безопасности танкерных перевозок.

Ключевые слова: морской транспорт, потери, чрезвычайная ситуация, безопасность перевозок, анализ состояния

Для цитирования: Лоран Н.М., Калач А.В., Агеев П.М. Современные тенденции в обеспечении безопасности перевозок морским транспортом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 29–36. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-29-36.

Scientific article

MODERN TRENDS IN ENSURING THE SAFETY OF TRANSPORTATION BY SEA

Loran Nikolay M.

Siberian rescue and firefighting academy of State fire services of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia.

✉ **Kalach Andrey V.**

Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia.

Ageev Pavel M.

Saint-Petersburg university of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ a_kalach@mail.ru

Abstract. The results of the analysis and generalization of data on the safety of marine equipment during navigation in the period from 2012 to 2021 presented. Particular attention in the analysis of data paid to the frequency of emergencies at various marine facilities. Allianz Global Corporate & Specialty's data used to identify current trends in ensuring security

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

in the transportation of goods. It been established that the three main causes of the loss of marine equipment (85 % of all losses) over the past decade include emergencies associated with flooding (~55 %), grounding (~20 %), fires and explosions (~10 %). It shown that the greatest losses of sea vessels because of emergencies (accidents) are typical for the water areas of South China, Indochina, Indonesia and the Philippines. The analysis and generalization of static data on the state of navigation safety made it possible to identify current trends in the field of tanker transportation safety.

Keywords: sea transport, losses, emergency, transport safety, condition analysis

For citation: Loran N.M., Kalach A.V., Ageev P.M. Modern trends in ensuring the safety of transportation by sea // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 29–36. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-29-36.

Введение

Нефть и газ представляют собой важнейшие энергоресурсы нашей планеты. Российская Федерация является одним из основных производителей и продавцов углеводородного сырья на планете, транспорт которых осуществляется зачастую по развитой системе нефтепроводов. Однако на фоне санкций недружественных стран для перевозки нефти правительством России в настоящее время обозначен долгосрочный курс на расширение и развитие танкерного флота, стоимость которого по предварительным оценкам составит более 1 трлн руб.

Танкеры ежегодно перевозят порядка $2,2 \times 10^9$ т нефти. При этом, несмотря на тот факт, что мировой танкерный флот характеризуется относительно низкими показателями риска аварийности, тенденции роста объемов добычи, переработки нефти неизменно ведут к увеличению трафика транспортировки и повышают вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). По данным Lloyd's List Intelligence Casualty Statistics за период 2010–2019 гг. во всем мире произошло более 25 тыс. ЧС с участием морской техники [1, 2].

По данным Allianz global corporate & specialty (Safety and Shipping Review, 2020) тремя основными причинами ЧС, приведших к потере морской техники (85 % всех потерь) за последнее десятилетие, являются затопление (~55 %), посадка на мель (~20 %), пожары и взрывы (~10 %) [3–7].

Таким образом, одной из основных проблем обеспечения безопасности перевозок водными путями является повышение уровня пожаровзрывобезопасности мореплавания, а задача обеспечения пожарной безопасности транспортировки нефти танкерами является актуальной и требует дальнейших шагов на пути ее решения с применением современных высокоэффективных методов и средств [8].

На сегодняшний день противопожарная защита судов регулируется в основном на основе детерминированных норм, которые устанавливаются в соответствии с положениями международных конвенций. Эти конвенции включают Конвенцию по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. и ее Протокол 1978 г. [9], Конвенцию о сохранении человеческой жизни на море 1974 г. (SOLAS) [10], Международный кодекс по системам пожарной безопасности (Кодекс СПБ) [11] и конвенцию по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и другими материалами [12].

Кроме того, последние исследования показали низкую эффективность традиционного экспертного подхода при оценке рисков в условиях неопределенности и неполных данных [13, 14]. Важно отметить, что экспертный метод оценки риска может быть полезным для анализа причинно-следственных связей в контексте морского транспорта. Тем не менее дальнейшее усовершенствование инструментов анализа рисков должно включать в себя одновременное использование методов сценарного и вероятностного моделирования, а также оценку последствий ЧС.

Целью исследования является повышение уровня пожаровзрывобезопасности танкерного судоходства путем выявления и анализа причин возникновения ЧС (аварий) на морском транспорте.

Анализ безопасности морских перевозок

Не смотря на то, что одним из факторов, влияющих на потери морской техники (в 1 из 5 случаев), являются изменение климата и неблагоприятные метеорологические условия мореплавания, необходимо отметить, что, согласно статистическим данным, ежегодные потери при транспортировке грузов морским транспортом, за период с 2012 по 2021 г., сократились почти на четверть. Кроме того, согласно данным Allianz Global Corporate & Specialty SE (AGCS) в настоящее время наблюдается значительное улучшение средних значений показателей безопасности мореплавания (снижение на 50 % за последние десять лет).

Такой рекордно низкий уровень общих потерь морских судов, безусловно, обусловлен не только пандемией Covid-19, но и результатами долгосрочного повышения требований безопасности в мировой судоходной отрасли [1, 3].

Результаты проведенного анализа и обобщения данных о безопасности морской техники при мореплавании в период с 2012 по 2021 гг. приведены в табл. 1. Особое внимание при анализе данных было уделено частоте возникновения ЧС на различных объектах морской техники. Для выявления современных тенденций обеспечения безопасности при транспортировке грузов использовали данные Allianz Global Corporate & Specialty's (AGCS). Выявлена наметившаяся тенденция по снижению (~1 %) общего количества ЧС на объектах морской техники.

В табл. 1 приведены данные о потерях морской техники в период с 2012 по 2021 г. с учетом ранжирования по типу судна.

Таблица 1

Общие потери морской техники в период с 2012 по 2021 г. (ранжирование по типу судна)

Тип судна	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Итого, ед.
Грузовые суда (Cargo)	61	40	31	40	35	53	24	21	25	27	357
Рыболовные суда	12	13	15	16	10	8	16	14	13	7	124
Пассажирские суда	7	8	11	6	11	5	7	5	7	5	72
Грузовые суда (Bulk Carriers)	11	15	5	13	5	7	3	3	2	0	64
Буксиры (Tugboat)	6	7	7	6	7	4	5	4	4	2	52
Химовозы (Chemical / Products Tanker)	8	10	2	3	7	4	3	1	2	2	42
Ролкеры (RO-RO)	6	2	5	6	10	0	3	7	1	1	41
Контейнеровозы (Containership)	7	4	4	5	5	3	2	1	1	1	33
Вспомогательные суда (Offshore Supply)	3	2	3	3	2	2	2	1	1	3	22
Баржи (Barge)	0	3	1	0	3	1	2	1	0	2	13
Дноуглубительные суда (Dredger)	1	0	1	1	1	3	2	1	2	1	13
Танкерные суда (Tanker)	1	0	1	0	0	2	3	0	2	1	10
Неопознанные	0	1	0	2	1	0	0	3	0	0	7
Газовозы (LPG)	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	5
Прочие	3	6	4	4	4	1	1	7	5	2	37
Общее количество	127	111	90	105	102	94	73	71	65	54	892

Выявлено, что регионами, характеризующимися наибольшими потерями морских судов в результате ЧС (аварий), являются Южный Китай, Индокитай, Индонезия и Филиппины (табл. 2). Данные статистики ЧС показали, что в этих регионах произошла каждая четвертая авария, что может быть обусловлено действием различных факторов, основными среди которых являются: оживленные судоходные маршруты, устаревший флот и т.д.

Таблица 2

Общие потери по 10 основным регионам с 2012 по 2021 г.

Регион	Потери, ед.
Южный Китай, Индокитай, Индонезия и Филиппины	225
Восточное Средиземноморье и Черное море	136
Япония, Корея и Северный Китай	87
Британские острова, Северное море, Английский канал и Бискайский залив	55
Арабский залив и подходы	46
Западноафриканское побережье	38
Западное Средиземноморье	35
Бенгальский залив	29
Южная Атлантика и Восточное побережье Южной Америки	24
Вест-Индия	23
Прочие	194
Общее количество	892

Следует отметить, что разнообразные повреждения оборудования также занимают важное место среди факторов, вызывающих ограничения в страховании морских перевозок. За последние пять лет выплаты по таким случаям превысили 1 млрд долл. США [15, 16].

Кроме указанных факторов, пожары и подобные инциденты все еще вызывают значительные убытки среди морских судов, и количество ЧС, связанных с ними, продолжает увеличиваться. Важно отметить, что одной из основных причин возникновения пожаров на морском транспорте является некорректная декларация грузов, включая неправильную или заведомо ложную маркировку (контрабанда, груз двойного назначения и т.д.), а также небезопасная упаковка взрывопожароопасных материалов.

В табл. 3 приведены данные по количеству и динамике инцидентов, произошедших с морской техникой в 2021 г. Проведя анализ представленных данных, видим, что динамика увеличения инцидентов с негативными последствиями демонстрирует тренд роста.

Этот тренд характеризуется не только увеличением количества инцидентов, но и усилением их негативных последствий.

По данным Lloyd's List Intelligence Casualty Statistics, в последнее десятилетие основными причинами ЧС на морских судах являлись затопление (54, 6 %), контакт с грунтом (19, 9 %), пожары и взрывы (10, 2 %). Среди причин также выделяют отказы машин и механизмов (5,6 %), столкновения двух судов (3,6 %), повреждение корпуса (3,5 %) [17].

При этом, если рассматривать нефтетанкеры, наиболее часто горение возникает в помещениях насосной станции и механических мастерских, в которых также может образоваться взрывоопасная концентрация паров нефти.

Все инциденты, произошедшие с морской техникой в 2021 г.

Регионы	Количество, ед.	Изменение, в сравнении с 2020 г.
Британские острова, Северное море, Английский канал и Бискайский залив	668	+ 94 ↑
Восточное Средиземноморье и Черное море	539	+ 113 ↑
Южный Китай, Индокитай, Индонезия и Филиппины	276	+ 13 ↑
Западное Средиземноморье	176	+ 71 ↑
Североамериканское западное побережье	138	+ 1 ↑
Балтика	124	+ 10 ↑
Район Великих озер	122	- 58 ↓
Исландия и Северная Норвегия	105	- 3 ↓
Япония, Корея и Северный Китай	104	+ 11 ↑
Ньюфаундленд	87	+ 4 ↑
Прочие	661	–
Итого	3 000	+ 305 ↑

На рисунке представлена статистика пожаров в результате взрыва на водном транспорте.

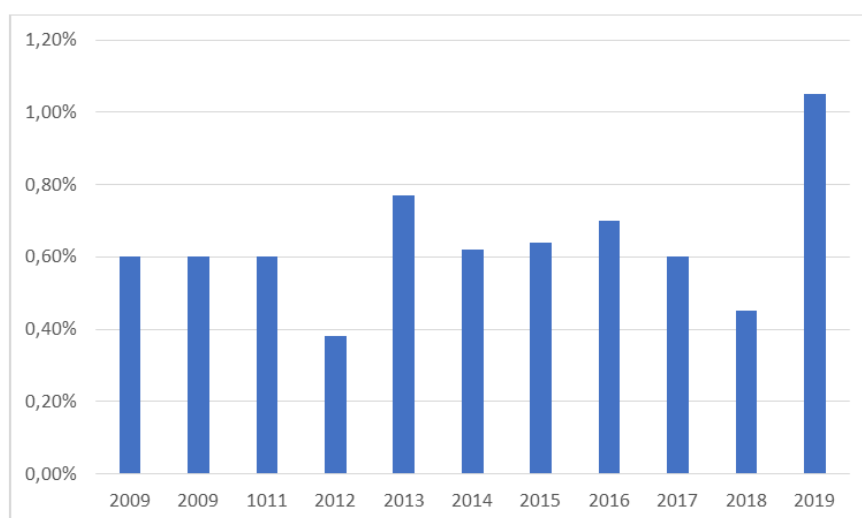


Рис. Относительное количество пожаров, произошедших в результате взрыва на водном транспорте

Эксплуатация нефтеналивных танкеров несет с собой серьезный потенциал возникновения ЧС, включая пожары и взрывы, обусловленные утечкой перевозимых материалов. Это риск, который несет не только значительные экономические потери, но и угрожает окружающей среде и человеческим жизням. Один лишь пожар, возникший на нефтеналивном танкере, может привести к катастрофическим последствиям мирового масштаба.

В данном контексте представляется наиболее актуальным и значимым исследование и совершенствование методов оценки пожарного риска в условиях, когда пожарные сценарии касаются горючих жидкостей, таких как нефть и нефтепродукты, на борту нефтеналивных танкеров. Этот вопрос становится предметом внимания не только с точки зрения безопасности морской индустрии, но и с позиции обеспечения экологической стабильности и гарантирования человеческого благополучия.

Выводы

Поскольку на отечественных верфях только начинается закладка нефтеналивных танкеров, налицо необходимость более глубокого изучения особенностей возникновения наиболее вероятных пожароопасных ситуаций. Это становится ключевым аспектом в работе над повышением уровня безопасности мореплавания.

Проводимое исследование должно охватить детальный анализ возможных сценариев пожаров, которые могут возникнуть на нефтеналивных танкерах в условиях реальной эксплуатации. На основе этого анализа будут разрабатываться более эффективные методы обеспечения полной безопасности таких судов.

Этот процесс требует не только глубоких научных исследований, но и внимательного рассмотрения практических аспектов и стандартов безопасности в морской индустрии. Важно стремиться к комплексному подходу к обеспечению безопасности судов и разработке инновационных методов, которые могут быть применены вне зависимости от места постройки нефтеналивных танкеров.

Следовательно, необходимо провести глубокое научное исследование, направленное на выявление закономерностей распространения и особенностей развития пожаров с целью совершенствования системы оценки и управления пожарным риском на нефтеналивных танкерах.

На данный момент, в рамках исследования была представлена методика, нацеленная на расчет вероятностных показателей и определение потенциальных последствий пожаров на нефтяных танкерах. Эта методика предоставляет возможность создания диаграммы рисков, основанной на вероятности возникновения инцидентов и степени нанесенного ущерба.

Центральным элементом данной методики является матрица оценки рисков, которая обеспечивает возможность осуществления качественного (полуколичественного) анализа уровня риска, связанных с нежелательными событиями на нефтяных танкерах.

Кроме того, методика рекомендует формировать перечень значимых опасностей с использованием смешанной полуколичественной шкалы, которая учитывает как качественные, так и количественные аспекты потенциальных последствий реализации опасностей.

Этот подход, комбинирующий различные аспекты, предоставляет более полную и глубокую картину рисков в контексте пожаров на нефтяных танкерах.

Такая методика способствует более точной оценке рисков и может послужить основой для более эффективных мер по предотвращению и управлению инцидентами в данной области морской безопасности.

Список источников

1. Safety and shipping review 2020.

URL: <https://www.steamshipmutual.com/sites/default/files/medialibrary/files/AGCS-Safety-Shipping-Review-2020.pdf> (дата обращения: 01.11.2022).

2. Калач А.В., Лоран Н.М., Сивокосов А.С. Анализ аварийности на внутреннем водном транспорте // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Железнодорожск, 2020. С. 372–374.

3. Finnish Annual Maritime Safety Review 2013. Finnish Transport Safety Agency (TraFi).

URL: <https://allacademy.com/wp-content/uploads/2014/03/Shipping-Review-2014.pdf> (дата обращения: 17.05.2023).

4. Current underwriting challenges. Markus Gesmann. URL:

<https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/A3%20-%20Markus%20Gesman.pdf> (дата обращения: 01.05.2023).

5. International Maritime Organization.

URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/IIS/Pages/Statistics.aspx> (дата обращения: 17.05.2023).

6. Анализ аварийности развития пожароопасной ситуации на нефтяном танкере / А.В. Калач [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 4 (19). С. 38–43.
7. Safety and shipping review 2022.
URL: https://www.allianz.at/content/dam/onemarketing/cee/azat/presse/presseaussendungen/20220510_Studie_Safety-and-Shipping-Review-2022.pdf (дата обращения: 17.05.2023).
8. Wróbel K. Searching for the origins of the myth: 80 % human error impact on maritime safety // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 216. № 107942.
9. Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. к ней (МАРПОЛ-73/78). СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2023. Кн. I, II. 862 с.
10. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года (СОЛАС-74) (консолидированный текст, изм. Протоколом 1988 г. к ней, с поправками). СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2021. 1184 с.
11. Международный кодекс по системам пожарной безопасности (резолюция MSC.98(73) ИМО с поправками). СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2020. 200 с.
12. Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов. СПб.: ООО «МОРКНИГА», 2023. 200 с.
13. A novel approach to risk analysis of automooring operations on autonomous vessels / J. Bao [et al.] // Maritime transport research. 2022. Vol. 3. № 100050.
14. Aven T. The risk concept-historical and recent development trends // Reliability Engineering & System Safety. 2012. Vol. 99. P. 33–44.
15. Lloyd's statistics. URL: <https://www.lloyds.com/stats> (дата обращения: 01.11.2022).
16. Струщенко Ю.О., Шепелин Г.И. Страхование морских перевозок // Наука среди нас. 2019. № 6 (22). С. 219–222.
17. Safety and shipping review 2022.
URL: https://www.allianz.at/content/dam/onemarketing/cee/azat/presse/presseaussendungen/20220510_Studie_Safety-and-Shipping-Review-2022.pdf (дата обращения: 01.06.2023).

References

1. Safety and shipping review 2020.
URL: <https://www.steamshipmutual.com/sites/default/files/medialibrary/files/AGCS-Safety-Shipping-Review-2020.pdf> (data obrashcheniya: 01.11.2022).
2. Kalach A.V., Loran N.M., Sivokozov A.S. Analiz avarijnosti na vnutrennem vodnom transporte // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i zashchity ot chrezvychajnyh situacij: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. Zheleznogorsk, 2020. S. 372–374.
3. Finnish Annual Maritime Safety Review 2013. Finnish Transport Safety Agency (TraFi).
URL: <https://allacademy.com/wp-content/uploads/2014/03/Shipping-Review-2014.pdf> (data obrashcheniya: 17.05.2023).
4. Current underwriting challenges. Markus Gesmann.
URL: <https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/A3%20-%20Markus%20Gesman.pdf> (data obrashcheniya: 01.05.2023).
5. International Maritime Organization.
URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/IIS/Pages/Statistics.aspx> (data obrashcheniya: 17.05.2023).
6. Analiz avarijnosti razvitiya pozharoopasnoj situacii na neftyanom tankere / A.V. Kalach [i dr.] // Sibirskij pozharno-spatel'nyj vestnik. 2020. № 4 (19). S. 38–43.
7. Safety and shipping review 2022.
URL: https://www.allianz.at/content/dam/onemarketing/cee/azat/presse/presseaussendungen/20220510_Studie_Safety-and-Shipping-Review-2022.pdf (data obrashcheniya: 17.05.2023).
8. Wróbel K. Searching for the origins of the myth: 80 % human error impact on maritime safety // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 216. № 107942.
9. Konvenciya po predotvrashcheniyu zagryazneniya s sudov 1973 g., izmenennaya protokolom 1978 g. k nej (MARPOL-73/78). SPb.: ZAO «CNIIMF», 2023. Kn. I, II. 862 s.

10. Mezhdunarodnaya konvenciya po ohrane chelovecheskoj zhizni na more 1974 goda (SOLAS-74) (konsolidirovannyj tekst, izm. Protokolom 1988 g. k nej, s popravkami). SPb.: AO «CNIIMF», 2021. 1184 s.

11. Mezhdunarodnyj kodeks po sistemam pozharnoj bezopasnosti (rezolyuciya MSC.98(73) IMO s popravkami). SPb.: AO «CNIIMF», 2020. 200 s.

12. Konvenciya po predotvrashcheniyu zagryazneniya morya sbrosami othodov i drugih materialov. SPb.: OOO «MORKNIGA», 2023. 200 s.

13. A novel approach to risk analysis of automooring operations on autonomous vessels / J. Bao [et al.] // Maritime transport research. 2022. Vol. 3. № 100050.

14. Aven T. The risk concept-historical and recent development trends // Reliability Engineering & System Safety. 2012. Vol. 99. P. 33–44.

15. Lloyd's statistics. URL: <https://www.lloyds.com/stats> (data obrashcheniya: 01.11.2022).

16. Strushchenko Yu.O., Shepelin G.I. Strahovanie morskikh perevozok // Nauka sredi nas. 2019. № 6 (22). S. 219–222.

17. Safety and shipping review 2022.

URL: https://www.allianz.at/content/dam/onemarketing/cee/azat/presse/presseaussendungen/20220510_Studie_Safety-and-Shipping-Review-2022.pdf (data obrashcheniya: 01.06.2023).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.04.2023; одобрена после рецензирования: 04.09.2023; принята к публикации: 06.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.04.2023; approved after review: 04.09.2023; accepted for publication: 06.09.2023

Информация об авторах:

Лоран Николай Михайлович, научный сотрудник отдела информационных технологий и компьютерного моделирования научно-технического центра Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1), e-mail: lourant9@rambler.ru, SPIN-код: 9283-8798

Калач Андрей Владимирович, ведущий научный сотрудник учебно-научного комплекса управления комплексной безопасностью Уральского института ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), доктор химических наук, профессор, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN-код: 2584-7456

Агеев Павел Михайлович, старший научный сотрудник отдела сертификации научно-технической продукции в области пожарной безопасности научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: pageev72@yandex.ru, SPIN-код: 5752-7937

Information about the authors:

Loran Nikolay M., researcher at the department of information technologies and computer modeling of the scientific and technical center of the Siberian fire and rescue academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (662972, Zheleznogorsk, Severnaya str., 1), e-mail: lourant9@rambler.ru, SPIN: 9283-8798

Kalach Andrey V., leading researcher of the educational and scientific complex of integrated security management of Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia (620062, Yekaterinburg, Mira str., 22), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: A_Kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN: 2584-7456

Ageev Pavel M., senior researcher of the department of certification of scientific and technical products in the field of fire safety of the research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of technical sciences, e-mail: pageev72@yandex.ru, SPIN: 5752-7937

Научная статья

УДК 654.924.5; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-37-49

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ОБЪЕДИНЕННЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ИСПОЛНЕНИЯ НАКАЗАНИЙ РОССИИ

✉ **Актерский Юрий Евгеньевич;**

Смирнов Алексей Сергеевич;

Нефедьев Сергей Аркадьевич.

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

✉ akterskij.y@igps.ru

Аннотация. Глобальные геополитические и социально-экономические изменения, происходящие в Российской Федерации в последние годы, привели к существенным изменениям в численности и структуре категорий лиц, содержащихся в различных учреждениях Федеральной службы исполнения наказаний России, что требует поиска новых экономически обоснованных способов оптимизации затрат на обеспечение их целевого функционирования и содержания. Проведенный анализ научно-технических и нормативных отечественных и зарубежных источников и документов показал, что одним из основных направлений решения указанной проблемы может стать создание укрупненных учреждений Федеральной службы исполнения наказаний России, объединяющих на ограниченной территории большое количество взаимодействующих между собой многофункциональных сложноструктурированных объектов со специальным режимом пребывания в них многочисленных групп людей [1–4]. По формальным признакам такие объекты относятся к категории объектов с массовым пребыванием людей и требуют реализации комплекса специальных мероприятий по снижению рисков чрезвычайных ситуаций и пожаров.

Цель работы – поиск, обоснование и разработка новых более эффективных средств и методов снижения рисков чрезвычайных ситуаций на перспективных объектах объединенных учреждений Федеральной службы исполнения наказаний России.

Методологическую основу работы составили анализ, синтез, статистический, системно-структурный методы, метод прогнозирования. В результате проведенного исследования обоснована необходимость при переходе Федеральной службы исполнения наказаний России к учреждениям объединенного типа разработки новых методов снижения в них рисков чрезвычайных ситуаций и пожарных рисков на основе цифровых моделей и BIM-технологии.

В статье предложены подходы к снижению рисков чрезвычайных ситуаций на перспективных объектах специального назначения объединенных учреждений Федеральной службы исполнения наказаний России на основе интеллектуального учета функциональных особенностей, конструктивных и объемно-планировочных решений их отдельных компонентов, а также непрерывного мониторинга изменения пожарной нагрузки с помощью цифровых моделей. Показана возможность реализации указанных требований в рамках разработки и внедрения аппаратно-программного комплекса интеллектуальной системы оповещения и управления эвакуацией людей с применением технологии цифрового BIM-моделирования.

Ключевые слова: объединенные учреждения Федеральной службы исполнения наказаний России, риски чрезвычайных ситуаций, пожарная опасность, цифровая модель

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Для цитирования: Актерский Ю.Е., Смирнов А.С., Нefeldев С.А. Снижение рисков чрезвычайных ситуаций на объектах объединенных учреждений Федеральной службы исполнения наказаний России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 37–49. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-37-49.

Scientific article

REDUCING THE RISKS OF EMERGENCIES AT THE FACILITIES OF THE UNITED INSTITUTIONS FEDERAL PENITENTIARY SERVICE OF RUSSIA

✉ **Akterskiy Yuriy E.;**

Smirnov Aleksey S.;

Nefedev Sergey A.

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

✉ akterskiy.y@igps.ru

Abstract. Global geopolitical and socio-economic changes taking place in the Russian Federation in recent years have led to significant changes in the number and structure of categories of persons held in various institutions of the Federal penitentiary service of Russia, which requires the search for new economically sound ways to optimize the costs of ensuring their targeted functioning and maintenance. The analysis of scientific, technical and regulatory domestic and foreign sources and documents has shown that one of the main directions of solving this problem can be the creation of enlarged institutions of the Federal penitentiary service, combining in a limited area a large number of multifunctional complex-structured objects interacting with each other with a special regime for the stay of numerous groups of people in them [1–4]. According to formal signs, such objects belong to the category of objects with a mass stay of people and require the implementation of a set of special measures to reduce the risks of emergencies and fires.

The purpose of the work is to search, substantiate and develop new more effective means and methods of reducing the risks of emergency situations at promising facilities of the united institutions of the Federal penitentiary service of Russia.

The methodological basis of the work was analysis, synthesis, statistical, system-structural methods, forecasting method. As a result of the conducted research, the need for the transition of the Federal penitentiary service of Russia to joint type institutions to develop new methods for reducing the risks of emergencies and fire risks in them based on digital models and BIM technology is justified.

The article suggests approaches to reducing the risks of emergencies at promising special-purpose facilities of the Federal penitentiary service of Russia on the basis of intelligent consideration of functional features, structural and space-planning solutions of their individual components, as well as continuous monitoring of changes in fire load using digital models. The possibility of implementing these requirements within the framework of the development and implementation of a hardware and software complex of an intelligent warning system and evacuation management using digital BIM modeling technology is shown.

Keywords: united institutions of the Federal penitentiary service of Russia, emergency risks, fire danger, digital model

For citation: Akterskiy Yu.E., Smirnov A.S., Nefedev S.A. Reducing the risks of emergencies at the facilities of the united institutions Federal penitentiary service of Russia // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 37–49. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-37-49.

Введение

Существенные изменения в социально-экономической и политической сферах деятельности, происходящие в последнее время в Российской Федерации, привели к появлению и дальнейшему нарастанию общей тенденции постепенного сокращения численности различных категорий лиц, содержащихся в учреждениях Федеральной службы исполнения наказаний (ФСИН) [1, 2, 5]. Это привело к необходимости поиска и обоснования более рациональных с функциональной и экономической точек зрения решений построения учреждений ФСИН в новых условиях. Наиболее кардинальное отражение данная проблематика получила в утвержденной Правительством Российской Федерации Концепции развития уголовно-исполнительной системы на период до 2030 г. В соответствии с данным документом одним из основных направлений совершенствования структурно-организационного построения будет являться постепенный переход от традиционных к перспективным учреждениям ФСИН объединенного типа [1, 3, 4]. Начало реализации пилотного проекта объединенного учреждения ФСИН в Калужской обл. запланировано на конец 2023 г.

В ходе проведенного анализа установлено, что такие учреждения будут представлять собой многофункциональные, многопрофильные сложные структуры, включающие в себя [1, 2, 4]:

- управленческий аппарат;
- административно-хозяйственные и медицинские органы учреждения;
- следственный изолятор и специальные помещения, функционирующие в режиме следственного изолятора;
- женские и мужские исправительные колонии с разными режимами содержания заключенных;
- колонии-поселения;
- учреждения лечебно-профилактического типа;
- учреждения лечебно-исправительного типа;
- колонии воспитательного типа;
- дисциплинарные и штрафные изоляторы, тюрьмы;
- промышленные предприятия, склады и хранилища различного сырья и готовой продукции;
- многоуровневые надземные и подземные парковки специального, легкового и грузового автотранспорта.

Все перечисленные структурные подразделения будут сосредоточены на относительно небольшой территории. Их размещение планируется в сложноструктурированных многоэтажных зданиях и сооружениях с уникальными конструктивными и объемно-планировочными решениями, возведенных из строительных конструкций с различными свойствами огнестойкости и пожарной опасности. Внутри большинства зданий объединенных учреждений предполагается наличие высокой концентрации пожарной нагрузки. Средний лимит наполнения таких объектов сотрудниками, подследственными и осужденными будет составлять более 5 тыс. чел. Все эти факторы существенно влияют на увеличение общей пожарной опасности и позволяют отнести данные объекты к категории потенциально опасных объектов с массовым пребыванием людей [6]. Примеры подобных объектов ФСИН приведены на рис. 1.



а) СИЗО № 1 «Кресты», г. Колпино [7]



б) СИЗО № 2 «Бутырка», Москва [8]

Рис. 1. Объекты ФСИН

Вероятность своевременной и безопасной эвакуации всех категорий людей, которые могут одновременно находиться в различных помещениях таких объектов, при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) может оказаться значительно ниже допустимых пределов. Особенно это актуально для ЧС, связанных с крупными пожарами или взрывами.

Данный факт характеризуется специфическим назначением объединенных объектов ФСИН, их уникальными функциональными свойствами и особенностями режимов функционирования отдельных подразделений, наличием высокого уровня концентрации пожарной нагрузки в производственных и складских помещениях, взрывчатых веществ и боеприпасов в местах размещения охранных подразделений, общими режимными ограничениями в перемещении всех категорий лиц по коммуникационным путям и помещениям таких объектов.

Цель работы – поиск, обоснование и разработка новых более эффективных средств и методов снижения рисков ЧС на перспективных объектах объединенных учреждений ФСИН России.

Методы исследования

В соответствии с основными положениями документов, регламентирующих вопросы защиты от ЧС и пожарной безопасности на специальных объектах, защита объектов ФСИН в настоящее время осуществляется специальными подразделениями ведомственной пожарной охраны (ВПО), основными функциями которых являются следующие:

- постоянный мониторинг противопожарного состояния и реализация ведомственного пожарного надзора на объектах ФСИН;
- спасение всех категорий людей, оказание первой помощи, минимизация материального ущерба при пожарах и ЧС на объектах защиты;
- предупреждение пожаров и других ЧС на объектах защиты;
- тушение пожаров и ликвидация последствий ЧС;
- разработка и реализация мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объектах ФСИН.

В ходе проведенных исследований и анализа статистических данных [5] установлено, что, несмотря на значительные усилия со стороны ВПО ФСИН по недопущению пожаров на объектах защиты, их количество существенно не уменьшается. Последними примерами таких пожаров являются пожары в исправительной колонии № 7 под г. Красноярском (20 марта 2022 г., площадь пожара 1 200 м²), в исправительной колонии № 4 в г. Пензе (17 мая 2022 г., площадь пожара 300 м²). Наиболее резонансным стал пожар в п. Сосьва (25 апреля 2023 г.), где полностью было уничтожено огнем лечебно-исправительное учреждение (ЛИУ) ФСИН № 23 (рис. 2).



Рис. 2. Пожар в ЛИУ № 23, пос. Сосьва [9]

С учетом высокой организационно-структурной сложности объединенных объектов ФСИН и режимных особенностей их функционирования в качестве методологической основы решения поставленной проблемы были использованы методы системного анализа, синтеза, статистической обработки больших массивов априорных данных, системно-структурный методы, метод прогнозирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Переход от традиционных к перспективным учреждениям ФСИН объединенного типа, имеющих более сложные организационно-пространственные структуры, многопрофильное функциональное назначение, высокую концентрацию людей на ограниченных площадях, специальный режим функционирования с ограничениями возможности свободного перемещения по путям эвакуации, ограничения в использовании средств и систем пожарной автоматики будет способствовать усилению негативных факторов, способных привести к значительному увеличению пожарных рисков и рисков различных ЧС на объектах защиты.

Все это делает особо актуальным разработку и обоснование новых подходов к решению социально важной научно-технической задачи снижения пожарных рисков и рисков ЧС на объектах объединенных учреждений ФСИН с учетом следующих их особенностей:

1. Большое количество разнопрофильных многофункциональных учреждений, размещаемых в многоэтажных зданиях и сооружениях, наличие складских и производственных помещений, помещений для содержания заключенных, наличие транспортных автостоянок грузового, пассажирского и специального транспорта.

2. Использование строительных конструкций с различными пределами огнестойкости из строительных материалов с различными параметрами пожарной опасности, сложные объемно-планировочные и конструктивные решения.

3. Одновременное присутствие в различных помещениях большого количества людей различного возраста с различными физическими и другими возможностями, наличие осужденных и подследственных, склонных к побегу и организации массовых противоправных действий.

4. Существенные режимные ограничения в перемещении по территории объединенного учреждения ФСИН людей всех категорий.

5. При больших площадях отдельных помещений и коридоров объекта зоны прямой видимости ограничены многочисленными секционными перегородками и тамбур-шлюзами.

6. Ограниченная пропускная способность путей эвакуации и емкость безопасных зон.

7. Нормативные ограничения по применению в отдельных помещениях объединенного учреждения ФСИН средств и систем пожарной автоматики.

Установлено, что наибольшую пожарную опасность в перспективных объединенных учреждениях ФСИН будут составлять промышленные и складские зоны, в которых возможно нахождение и оборот большого количества различных горючих материалов (их складирование, хранение, переработка) на больших площадях (рис. 3).



Рис. 3. Производственные цеха в учреждениях ФСИН России [10]

С учетом выявленных особенностей перспективных объединенных учреждений ФСИН в случаях возникновения пожара или других ЧС наиболее эффективным и экономически целесообразным способом снижения рисков причинения вреда здоровью и жизни находящихся в них людей будет являться организация и управление безопасной эвакуацией с оперативным учетом динамики распространения опасных факторов пожара (ОФП) и меняющихся параметров объектов защиты. Практическая реализация данной концепции возможна при существенной интеллектуализации систем пожарной автоматики объектов и, прежде всего, систем оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ). В этом случае СОУЭ перспективных объектов ФСИН должны быть способны в реальном масштабе времени формировать динамически изменяющиеся с учетом индивидуальных особенностей объекта и масштабов развития ЧС (поэтажно, посеционно и т.п.) зоны оповещения, что возможно только при наличии у СОУЭ собственных интеллектуальных возможностей как на уровне центрального управления всей системой, так и на уровне отдельных элементов окончного оборудования.

Анализ результатов современных исследований в области интеллектуализации сложных автоматических систем комплексной безопасности показал, что проектирование и реализация высокоэффективных СОУЭ перспективного поколения для объектов объединенных учреждений ФСИН должны базироваться на разработке и широком внедрении их цифровых моделей, которые будут сопровождать эксплуатацию каждого объекта защиты на основных стадиях его жизненного цикла (ЖЦ). Такие модели должны быть способны не только к анализу последствий изменения его основных технических и объемно-планировочных характеристик, но и к анализу возможных сценариев развития ЧС и пожаров на объекте.

Разработка и практическая реализация цифровых моделей объединенных учреждений ФСИН может базироваться на принципах BIM-моделирования сложных пространственных объектов (BIM – Building Information Modelling – информационное моделирование сложных объектов) в совокупности представляющих собой методологию создания и использования единой, структурированной информационной модели (BIM-модели) объектов защиты, процессов их ЖЦ, включая варианты реагирования на различные ЧС [11–15].

Проектирование сложных объектов различного функционального назначения на основе BIM-моделирования уже давно широко применяется в строительной индустрии [16],

но в рамках проблематики снижения рисков ЧС и пожарной опасности перспективных объектов объединенных учреждений ФСИН ВМ-модели в отечественной практике пока не применялись.

Разработанная структурная схема интеллектуальной СОУЭ перспективных объектов объединенных учреждений ФСИН на основе использования ВМ-моделирования для снижения рисков пожарной опасности и ЧС в реальных условиях их функционирования приведена на рис. 4.

В структуре предлагаемой интеллектуальной СОУЭ можно выделить в качестве основных следующие компоненты:

- модуль управления мониторингом и контроля пожарной безопасности объекта;
- модуль формирования, модификации и управления цифровой моделью объекта объединенного учреждения ФСИН;
- программно-аппаратный модуль лазерного сканирования новых элементов объекта ФСИН;
- модуль контроля трафика людей на объекте ФСИН;
- модуль контроля параметров термобарических режимов производственных установок объекта ФСИН;
- модуль динамического формирования зон оповещения на объектах объединенного учреждения ФСИН;
- аппаратно-программные средства динамических зон оповещения 1–N.

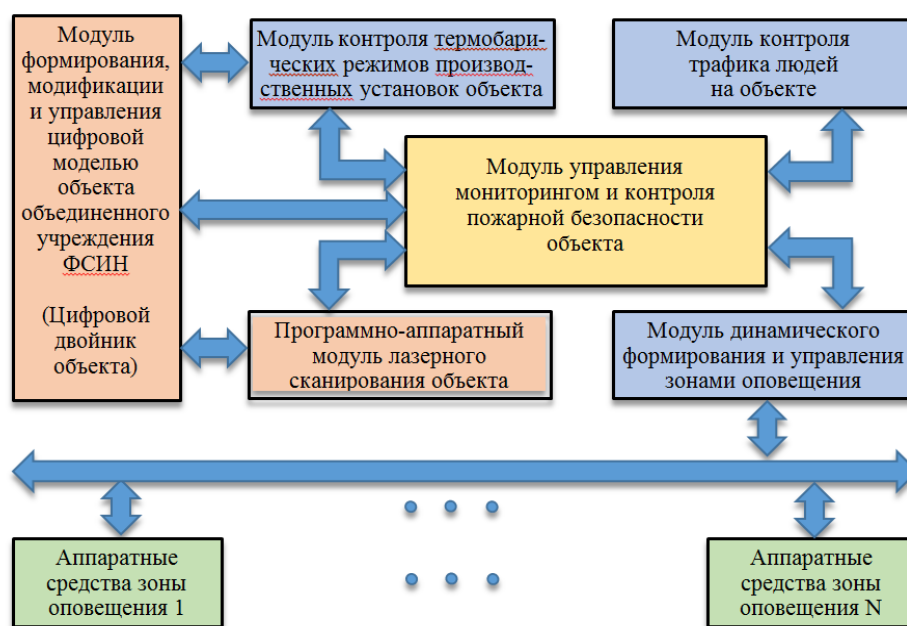


Рис. 4. Структурная схема интеллектуальной СОУЭ объектов объединенных учреждений ФСИН России

Модуль управления мониторингом и контроля пожарной безопасности объекта представляет собой аппаратно-программный комплекс, включающий в себя специализированный компьютер со специальным программным обеспечением для управления системой в различных режимах ее функционирования, интерфейсное оборудование, обеспечивающее прием и передачу между всеми компонентами системы информационных и управляющих цифровых кадров, телекоммуникационное проводное и радиочастотное оборудование для передачи сигналов тревоги и информации о динамике развития ЧС (рис. 5).



Рис. 5. Модуль управления мониторингом и контроля пожарной безопасности объекта объединенного учреждения ФСИН

Модуль формирования, модификации и управления цифровой моделью объекта представляет собой аппаратно-программный комплекс, предназначенный для формирования и разработки цифровой модели объекта. На этапе целевой эксплуатации объекта комплекс выполняет задачи хранения модели, оперативного внесения изменений в модель и предоставления по запросам пользователей и взаимодействующих модулей необходимой информации об эксплуатационных и функциональных параметрах объекта. Пример построения цифровой модели объекта приведен на рис. 6.

Программно-аппаратный модуль лазерного сканирования предназначен для оперативной фиксации изменений объемно-планировочных и пространственно-технических характеристик объекта, а также изменения расположения и объема временной пожарной нагрузки. Выявленные в ходе периодического лазерного сканирования изменения основных параметров объекта в виде облака цифровых точек передаются в программно-аппаратный модуль формирования, модификации и управления цифровой моделью (рис. 7). Систематическая актуализация цифровой модели позволяет организовать более эффективное планирование процессов обслуживания и эксплуатации объекта защиты, а также разработать и провести моделирование и оценивание результативности действий персонала при различных сценариях развития возможных ЧС.

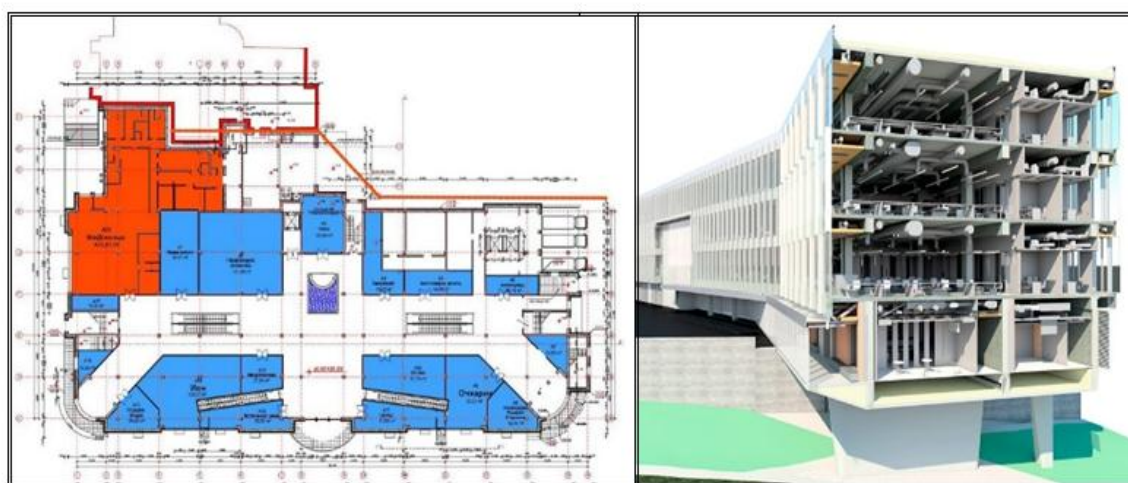


Рис. 6. Цифровая модель объекта ФСИН

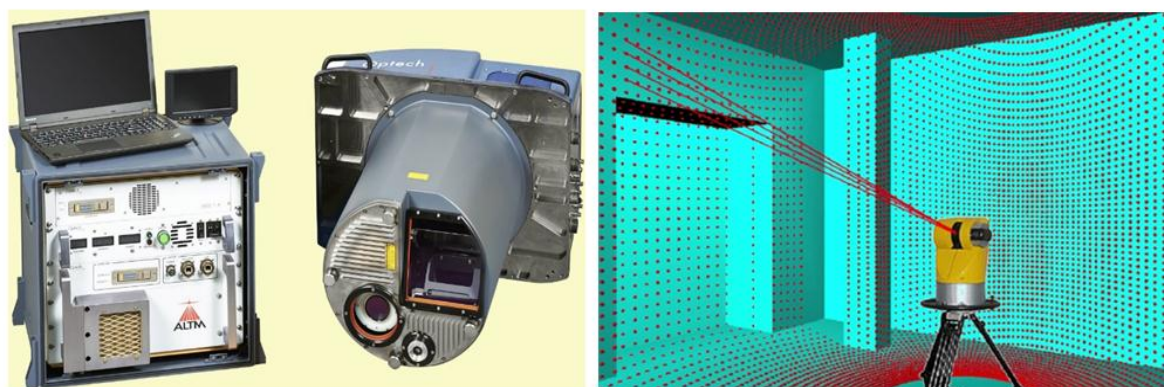


Рис. 7. Модуль лазерного сканирования

Модуль контроля трафика людей на объекте ФСИН представляет собой совокупность специальных программно-технических средств, реализующих процедуру подсчета числа людей различных категорий (персонал, содержащиеся под стражей) в различных зонах объекта защиты в реальном масштабе времени с помощью 3D-видеосчетчиков, что позволяет снизить риски причинения вреда жизни и здоровью людей в случаях организации их эвакуации и спасения при различных ЧС и пожарах.

Модуль контроля параметров термобарических режимов производственных установок в промышленных и складских зонах объекта ФСИН представляет собой совокупность радиочастотного приемо-передающего оборудования и специальных датчиков на основе поверхностных акустических волн (ПАВ). Данный модуль решает задачи раннего обнаружения нарушения термобарических режимов функционирования основного электротехнического оборудования в промышленных и складских зонах объекта защиты и формирования сигналов предупреждения аварийных и взрывопожароопасных ситуаций, которые поступают и обрабатываются в модуле управления мониторингом и контроля пожарной безопасности объекта для принятия соответствующих решений. Принцип дистанционного определения критических параметров температуры и давления в технологическом оборудовании производственных и складских помещений показан на рис. 8.

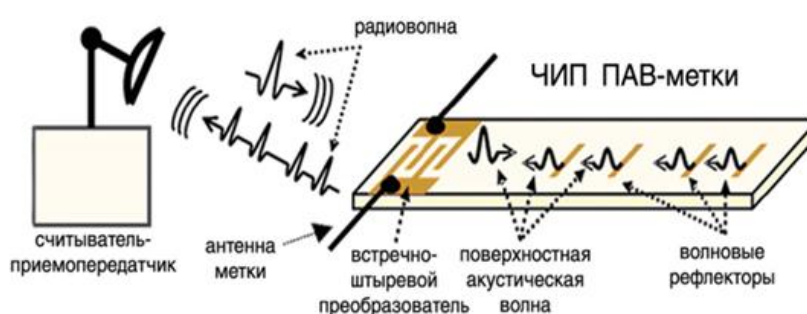


Рис. 8. Дистанционное сканирование критических параметров температуры и давления в технологическом оборудовании [17]

Модуль динамического формирования зон оповещения на объектах объединенного учреждения ФСИН включает в себя специализированные микропроцессорные обрабатывающие устройства и комплекс специального программного обеспечения для конфигурирования и управления коммутационным адресным оборудованием для решения

задач формирования состава и масштабирования технических средств оповещения и управления эвакуацией различных категорий людей объекта защиты. Разделение объекта на зоны и очередность подачи сигналов и сообщений в сформированные зоны оповещения определяются масштабами и динамикой развития ЧС.

Размеры зон оповещения, специальная очередность оповещения сотрудников объекта о пожаре и время начала оповещения в отдельных зонах определяются исходя из функционального назначения (режима) объекта объединенного учреждения ФСИН, условия обеспечения безопасной эвакуации людей при пожаре и т.п.

Совокупность технических средств оповещения и управления эвакуацией людей в сформированных зонах представляет собой комплекс специализированного аудио, видео и мультимедийного оборудования, предназначенного для решения следующих задач:

- формирование и подача световых, звуковых и (или) речевых сигналов в установленные помещения объекта защиты с постоянным или временным пребыванием различных категорий людей;

- разработка, хранение и трансляция специально разработанных текстов о необходимости эвакуации, путях эвакуации, направлении движения и других действиях, обеспечивающих безопасность всех категорий людей и предотвращение паники при пожаре;

- размещение и обеспечение освещения знаков пожарной безопасности на путях эвакуации в течение нормативного времени;

- включение эвакуационного (аварийного) освещения от резервных источников электропитания;

- обеспечение связью пожарного поста (диспетчерской) с зонами оповещения людей о ЧС или пожаре.

Параметры надежности и живучести всех компонентов и подсистем предлагаемой СОУЭ должны быть реализованы в вандалоустойчивом исполнении с учетом присутствия криминального контингента на объектах ФСИН и обеспечивать ее нормальное функционирование в течение всего времени, необходимого для завершения эвакуации всех категорий людей из объектов защиты объединенного учреждения ФСИН.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что в настоящее время в соответствии с требованиями Концепции развития уголовно-исполнительной системы на период до 2030 г. ожидается переход от традиционных к объединенным учреждениям ФСИН. Этот переход потребует разработки и внедрения нового научно-методического и инженерно-технического обеспечения снижения рисков пожарной опасности и ЧС на подобных объектах. В данной работе показано, что одним из основных направлений достижения сформулированной цели может стать применение на объектах объединенных учреждений ФСИН нового поколения СОУЭ на основе их цифрового моделирования с предлагаемыми структурными и функциональными особенностями.

Список источников

1. Об утверждении Концепции развития уголовно-исполнительной системы Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 29 апр. 2021 г. № 1138-р. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Антипов А.Н., Строгович Ю.Н. Учреждения объединенного типа: постановка проблемы // Ведомости уголовно-исполнительной системы. 2022. № 1. С. 9–12.
3. Все колонии и СИЗО планируют вывести из российских городов // Рос. газ. 2020. 3 дек.
4. О пожарах и пожарной безопасности на объектах учреждений и органов ФСИН России в 2021 году: обзор ФСИН России № 10/1-1004. URL: <https://fsin.gov.ru/> (дата обращения: 01.08.2023).

5. Статистические данные // ФСИН России. URL: <https://fsin.gov.ru/statistics/> (дата обращения: 01.08.2023).
6. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 68-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. СИЗО № 1 «Кресты», г. Колпино.
URL: <http://cms-api.galileo.tv/app/uploads/2020/01/109869896.jpg> (дата обращения: 01.08.2023).
8. СИЗО № 2 «Бутырка», г. Москва.
URL: <http://rasfokus.ru/images/photos/medium/50f42e2f07979d367a79169d8a7011ff.jpg> (дата обращения: 01.08.2023).
9. Пожар в ЛИК № 23, пос. Сосьва.
URL: http://s.ura.news/1200/images/news/upload/news/644/834/1052644834/0d54689a4b754746b7019459f31a1952_250x0_1280.853.0.0.jpg (дата обращения: 01.08.2023).
10. Производственные цеха в учреждениях ФСИН России. URL: <https://kpravda.ru/wp-content/uploads/2021/07/wh893xqxzug.jpg> (дата обращения: 01.08.2023).
11. Актерский Ю.Е., Дали Ф.А., Щукина С.А. Интеллектуальное управление эвакуацией людей при пожаре в здании с массовым пребыванием людей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4 (52). С. 92–100.
12. International conference on research and innovation in information systems (ICRIIS) / E.M. Nur [et al.]. 2017. № 1-7.
13. The problem analysis and solution suggestion in the process of city information model construction / Z. Wang [et al.] // 4th international conference on smart grid and smart cities (ICSGSC) 2020. P. 109–112. DOI: 10.1109/ICSGSC50906.2020.9248544.
14. Zita Sampino A. Project management in office: BIM implementation // Procedia computer science. 2022. Vol. 196. P. 840–847. DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.083.
15. Implementation of city information modeling (CIM) concepts in the process of management of the sewage system in Piumhi, Brazil / H.C. Melo [et al.] // IOP Conference Series: Earth and environmental science. 2019. Vol. 225. № 1. P. 012076. DOI: 10.1088/1755-1315/225/1/012076.
16. The business value of BIM for asset owners: a cross-case analysis / M. Munir [et al.] // Journal of facilities management. 2020. Vol. 18. № 5. P. 469–486. DOI: 10.1108/jfm-06-2020-0037.
17. Дистанционное сканирование критических параметров температуры и давления в технологическом оборудовании. URL: http://1.bp.blogspot.com/_UQZ0uqfQKE0/S5Kx_YXXwqI/AAAAAAAAA5M/EFvGIjAKlqc/w1200-h630-p-k-no-nu/SAW-RFID-tag.jpg (дата обращения: 01.08.2023).

References

1. Ob utverzhdenii Konceptii razvitiya ugolovno-ispolnitel'noj sistemy Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 29 apr. 2021 g. № 1138-р. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
2. Antipov A.N., Strogovich Yu.N. Uchrezhdeniya ob"edinennogo tipa: postanovka problemy // Vedomosti ugolovno-ispolnitel'noj sistemy. 2022. № 1. S. 9–12.
3. Vse kolonii i SIZO planiruyut vyvesti iz rossijskih gorodov // Ros. gaz. 2020. 3 dek.
4. O pozharah i pozharnej bezopasnosti na ob"ektah uchrezhdenij i organov FSIN Rossii v 2021 godu: obzor FSIN Rossii № 10/1-1004. URL: <https://fsin.gov.ru/> (дата обращения: 01.08.2023).
5. Statisticheskie dannye // FSIN Rossii. URL: <https://fsin.gov.ru/statistics/> (дата обращения: 01.08.2023).
6. O zashchite naseleniya i territorij ot chrezvychajnyh situacij prirodno i tekhnogenno go haraktera: Feder. zakon ot 21 dek. 1994 g. № 68-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
7. SIZO № 1 «Kresty», g. Kolpino.
URL: <http://cms-api.galileo.tv/app/uploads/2020/01/109869896.jpg> (дата обращения: 01.08.2023).

8. SIZO № 2 «Butyrka», g. Moskva.

URL: <http://rasfokus.ru/images/photos/medium/50f42e2f07979d367a79169d8a7011ff.jpg> (data obrashcheniya: 01.08.2023).

9. Pozhar v LIK № 23, pos. Sos'va.

URL: http://s.ura.news/1200/images/news/upload/news/644/834/1052644834/0d54689a4b754746b7019459f31a1952_250x0_1280.853.0.0.jpg (data obrashcheniya: 01.08.2023).

10. Proizvodstvennye cekha v uchrezhdeniyah FSIN Rossii. URL: <https://kpravda.ru/wp-content/uploads/2021/07/wh893xqxzug.jpg> (data obrashcheniya: 01.08.2023).

11. Akterskij Yu.E., Dali F.A., Shchukina S.A. Intellektual'noe upravlenie evakuaciej lyudej pri pozhare v zdanii s massovym prebyvaniem lyudej // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 4 (52). S. 92–100.

12. International conference on research and innovation in information systems (ICRIIS) / E.M. Nur [et al.]. 2017. 1-7.

13. The problem analysis and solution suggestion in the process of city information model construction / Z. Wang [et al.] // 4th international conference on smart grid and smart cities (ICSGSC) 2020. P. 109–112. DOI: 10.1109/ICSGSC50906.2020.9248544.

14. Zita Sampino A. Project management in office: BIM implementation // Procedia computer science. 2022. Vol. 196. P. 840–847. DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.083.

15. Implementation of city information modeling (CIM) concepts in the process of management of the sewage system in Piumhi, Brazil / H.C. Melo [et al.] // IOP Conference Series: Earth and environmental science. 2019. Vol. 225. № 1. P. 012076. DOI: 10.1088/1755-1315/225/1/012076.

16. The business value of BIM for asset owners: a cross-case analysis / M. Munir [et al.] // Journal of facilities management. 2020. Vol. 18. № 5. P. 469–486. DOI: 10.1108/jfm-06-2020-0037.

17. Distancionnoe skanirovanie kriticheskikh parametrov temperatury i davleniya v tekhnologicheskom oborudovanii. URL: http://1.bp.blogspot.com/_UQZ0uqfQKE0/S5Kx_YXXwqI/AAAAAAAAA5M/EFvGIjAKlqc/w1200-h630-p-k-no-nu/SAW-RFID-tag.jpg (data obrashcheniya: 01.08.2023).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.09.2023; одобрена после рецензирования: 20.09.2023;
принята к публикации: 21.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.09.2023; approved after review: 20.09.2023;
accepted for publication: 21.09.2023

Информация об авторе:

Актерский Юрий Евгеньевич, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>, SPIN-код: 7387-1442

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>, SPIN-код: 1677-1402

Нефедьев Сергей Аркадьевич, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: doktorsan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2299-4638>, SPIN-код: 8084-2125

Information about the authors:

Akterskiy Yuriy E., professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: aue2002@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5767-7462>, SPIN: 7387-1442

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>, SPIN: 1677-1402

Nefedev Sergey A., professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: doktorsan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2299-4638>, SPIN: 8084-2125

Научная статья

УДК 614.841.2; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-50-59

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

✉ Сысоева Татьяна Павловна.

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

✉ syisik@mail.ru

Аннотация. Для выполнения многих задач в системе МЧС России были разработаны базы данных с возможностью выбора модели летательного аппарата по тактико-техническим характеристикам вертолетного и самолетного типов. Базы данных представлены в виде цифровых и текстовых инвариантов в определенном диапазоне численных значений, что обеспечивает поиск, обработку и идентификацию с помощью ЭВМ на системе управления базами данных SQLite3 и для операционных систем Windows 7 и выше. Рассматриваемые базы могут быть использованы в работе сотрудниками и специалистами поисково-спасательных отрядов и других служб МЧС России для упорядочения и дифференцированного подхода в выборе необходимой беспилотной авиационной системы самолетного типа при выполнении поставленных задач с учетом местности и условий их применения. Принцип работы заключается в процессе заполнения базы данных информацией об имеющихся моделях, предназначенных для оснащения подразделений МЧС России, чтобы в дальнейшем была возможность проведения выборки.

Ключевые слова: беспилотная авиационная система, летательный аппарат, МЧС России, чрезвычайная ситуация, база данных

Для цитирования: Сысоева Т.П. Особенности выбора беспилотной авиационной системы // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 50–59. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-50-59.

Scientific article

FEATURES OF SELECTION OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM

✉ Sysoeva Tatiana P.

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

✉ syisik@mail.ru

Abstract. To perform many tasks in the system of EMERCOM of Russia, databases have been developed with the ability to select an aircraft model according to tactical and technical characteristics of helicopter and airplane types. Databases are presented in the form of digital and text invariants, in a certain range of numerical values, which provides search, processing and identification using a computer, on the SQLite3 database management system and for Windows 7 and higher operating systems. The databases in question can be used by employees and specialists of search and rescue teams and other services of EMERCOM of Russia to streamline and differentiate the approach in choosing the necessary unmanned aircraft system of the aircraft type to perform the tasks, taking into account the terrain and conditions of their use. The principle of operation is in the process of filling the database with information about the available models designed to equip the units of EMERCOM of Russia, so that in the future it would be possible to conduct a sample.

Keywords: unmanned aircraft system, aircraft, EMERCOM of Russia, emergency situation, database

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

For citation: Sysoeva T.P. Features of selection of unmanned aircraft system // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 50–59. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-50-59.

Ведение

Работа МЧС России сопряжена с различными видами спасательных работ и работой по предотвращению чрезвычайных ситуаций. Для выполнения многих поставленных задач применяются беспилотные авиационные системы [1–3]. Но у всех этих систем есть свои особенности применения, касающиеся тактико-технических характеристик. В связи с этим специалистам требуется время, чтобы выбрать из имеющихся на оснащении летательных аппаратов нужный аппарат для выполнения поставленной задачи [4–7].

Научная новизна заключается в том, что для решения данной задачи были разработаны базы данных с возможностью выбора модели летательного аппарата по тактико-техническим характеристикам вертолетного и самолетного типов.

Аналитическая часть

Разработанные базы данных (БД) представлены в виде цифровых и текстовых инвариантов в определенном диапазоне численных значений, что обеспечивает поиск, обработку и идентификацию с помощью ЭВМ. Для удобства выбора летательного аппарата были составлены две базы данных: «Беспилотные авиационные системы самолетного типа и их тактико-технические характеристики, применяемые в системе МЧС России» и «Беспилотные авиационные системы вертолетного типа и их тактико-технические характеристики, применяемые в системе МЧС России» на системе управления базами данных SQLite3 для операционных систем Windows 7 и выше.

Интерфейсная форма ввода исходных данных тактико-технических характеристик для беспилотной авиационной системы вертолетного типа представлена на рис. 1.

Рис. 1. Интерфейс БД вертолетного типа

Интерфейсная форма ввода исходных данных тактико-технических характеристик для беспилотной авиационной системы самолетного типа представлена на рис. 2.

Рис. 2. Интерфейс БД самолетного типа

Вывод на экран результатов выборки по тактико-техническим характеристикам беспилотных авиационных систем вертолетного типа представлен на рис. 3.

№	Режим GPS	Оптика (пиксели x 1000)	Режимы фотосъемки	держиваемые форматы кар	Режим видеосъ
1	GPS/GLONASS	45000	Покадровая/...	MicroSD	HD
2	GPS	12000	Покадровая/...	MicroSD	FullHD
3	GPS	35000	Покадровая/...	MicroSD	FullHD
4	GPS	10000	Автоматическая	MicroSD	FullHD
5	GPS	10000	Автоматическая	MicroSD	FullHD

Рис. 3. Результаты выборки вертолетного типа

Вывод на экран результатов выборки по тактико-техническим характеристикам беспилотных авиационных систем самолетного типа представлен на рис. 4.

■ БАС СТ

Данные

	Модель (марка) БПЛА	Кол-во (шт.)	Страна - производитель	Вес с батарей и винтами, кг	Размах крыла
1	Supercam 350	2	Россия	14.0	3.2
2	Supercam 250	1	Китай	5.5	2.55
3	Supercam 150	4	Россия	5.5	1.5
4	Supercam 100	1	Китай	3.5	1.0
5	Supercam 450	2	Иран	2.9	4.5

< >

Общее количество (штук): 10

Выборка и сортировка

Добавление данных

Редактирование данных

Рис. 4. Результаты выборки самолетного типа

БД предназначены для использования в качестве общероссийской электронной информационной системы классификации и анализа технических и летных данных по беспилотным авиационным системам вертолетного и самолетного типов.

Рассматриваемые БД могут быть использованы в работе сотрудниками и специалистами поисково-спасательных отрядов и других служб МЧС России для упорядочения и дифференцированного подхода в выборе необходимой беспилотной авиационной системы самолетного типа для выполнения поставленных задач с учетом местности и условий их применения [8–11].

Функциональные возможности выбора беспилотной авиационной системы вертолетного типа [12–14, 24]:

- проведения выборки по моделям и странам-производителям;
- выборка по массе летательного аппарата и его скорости с заданным шагом и в определенном интервале;
- выборка по скорости, высоте и времени полета с заданным шагом и в определенном интервале;
- выборка допустимости скорости ветра для летательного аппарата с заданным шагом и в определенном интервале;
- выборка рабочей температуры летательного аппарата с заданным шагом и в определенном интервале;
- выборка оптики в пикселях, режима фотосъемки (покадровая/автоматическая/замедленная) и видеосъемки (HD/FullHD);
- выборка рабочей температуры камеры летательного аппарата с заданным шагом и в определенном интервале;
- выбор по дальности передачи сигнала пульта дистанционного управления к летательному аппарату с заданным шагом и в определенном интервале;
- выбор по типу и емкости аккумуляторной батареи;
- выбор по возможности прикрепления навесного оборудования на летательный аппарат.

Исходя из функциональных возможностей выбора беспилотной авиационной системы вертолетного типа, был получен алгоритм работы (рис. 5).



Рис. 5. Алгоритм работы базы данных вертолетного типа:
АКБ – аккумуляторная батарея

Функциональные возможности выбора беспилотной авиационной системы самолетного типа [15–23, 25]:

- проведения выборки по моделям и странам производителям;
- выбор по массе летательного аппарата и размаху крыла с заданным шагом и в определенном интервале;
- выбор по типу двигателя летательного аппарата (электрический/бесколлекторный/поршневой/четырёхтактный/дизельный/бензиновый);
- выбор по дальности, скорости, высоте полета и времени полета летательного аппарата с заданным шагом и в определенном интервале;
- выборка допустимости скорости ветра для летательного аппарата с заданным шагом и в определенном интервале;
- выборка рабочей температуры летательного аппарата с заданным шагом и в определенном интервале;
- выборка оптики в пикселях, режима фотосъемки (покадровая/автоматическая/замедленная) и видеосъемки (HD/FullHD);
- выбор по поддержке формата файлов летательного аппарата (фото-JPEG/DNG; видео-MP4/MOV);
- выборка рабочей температуры камеры летательного аппарата с заданным шагом и в определенном интервале;
- выбор по дальности передачи сигнала пульта дистанционного управления к летательному аппарату с заданным шагом и в определенном интервале.

Исходя из функциональных возможностей выбора беспилотной авиационной системы самолетного типа, был получен алгоритм работы (рис. 6).

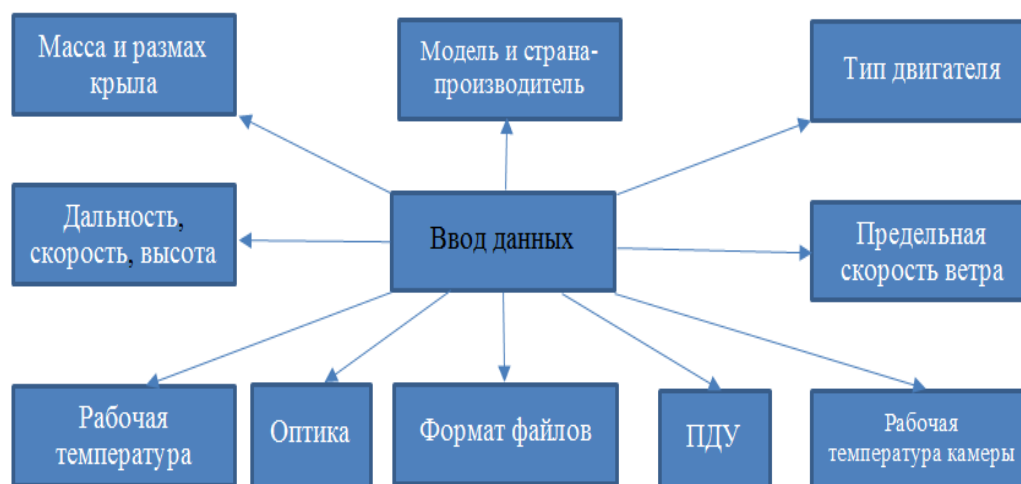


Рис. 6. Алгоритм работы базы данных самолетного типа:
ПДУ – пульт дистанционного управления

Объем каждой базы данных составляет 350 Мб.

Заключение

Таким образом, продукты готовы к наполнению информационными массивами по моделям и типам летательных аппаратов самолетного и вертолетного типов с указанием их тактико-технических характеристик.

Заполнение базы данных об имеющихся в подразделениях МЧС России летательных аппаратах не представляется сложным процессом, а информация об их характеристиках позволит в дальнейшем проводить выборку необходимого средства для выполнения поставленных задач.

Данный продукт ориентирован в основном на подразделения МЧС России, в распоряжении которых имеется достаточный и разнообразный комплекс беспилотных летательных аппаратов, которые, в свою очередь, нуждаются в систематизации и учете с целью оперативного их применения.

Список источников

1. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга объектов нефтегазового комплекса / А.В. Калач [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 111–115.
2. Пупынин В.И., Филимонов П.Б. Состояние и проблемы применения беспилотной авиации МЧС России // Современные проблемы транспортно-технологической и аварийно-спасательной техники в системе МЧС: сб. трудов XXVIII Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 87–92.
3. Software package for searching people and vehicles using unmanned aerial vehicles / D. Bulatitskiy [et al.] // CEUR Workshop Proceedings. 31. Сер.: GraphiCon 2021 – Proceedings of the 31st International conference on computer graphics and vision. 2021. С. 942–953.
4. Katin O.I., Belozarov V.V. Advantages of using an agro-fire airship for solving problems of agriculture and fire protection // European journal of natural history. 2021. № 2. С. 72–76.
5. Andreichuk A.P., Gurko A.V. Trends in artificial intelligence and robotics technologies in the arctic: the russian experience // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2022. № 10-2. С. 24–38.

6. Control of unmanned aerial vehicles during fire situation monitoring / V.N. Evdokimenkov [et al.] // *INCAS Bulletin*. 2019. Т. 11. № 1. С. 67–73.
7. Калач А.В., Сысоева Т.П., Лобова С.Ф. Основные проблемы эксплуатации беспилотных летательных аппаратов в ходе исследования места пожара и предупреждения чрезвычайных ситуаций // *Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию образования*. М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. С. 503–512.
8. Intelligent mobile object monitoring by unmanned aerial vehicles / V. Knyaz [et al.] // *EUROCON 2019 – 18th International conference on smart technologies*. 2019. № 18. С. 8861575.
9. Ajith V.S., Jolly K.G. Unmanned aerial systems in search and rescue applications with their path planning: a review // *Journal of physics: Conference series 2*. Сер.: 2nd International conference on robotics, intelligent automation and control technologies, RIACT 2021. 2021. С. 012020.
10. Sdn-assisted unmanned aerial system for monitoring sensor data / V. Vishnevsky [et al.] // *12th International congress on ultra modern telecommunications and control systems and workshops (ICUMT)*. Brno, 2020. С. 313–317.
11. Дударев А.В. Применение БЛА в структуре МЧС России для предотвращения ликвидации чрезвычайных ситуаций // *Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сб. трудов Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов*. Томск, Юрга: Нац. исслед. Томский политехн. ун-т; Юргинский технолог. ин-т, 2018. С. 405–407.
12. Al Said N., Gorbachev Y., Avdeenko A. An unmanned aerial vehicles navigation system on the basis of pattern recognition applications-review of implementation options and prospects for development // *Software – Practice and Experience*. 2021. Т. 51. № 7. С. 1509–1517.
13. Zhang J., Huang H. Occlusion-aware uav path planning for reconnaissance and surveillance // *Drones*. 2021. Т. 5. № 3.
14. Shmelova T., Burlaka O., Lazorenko V. Unmanned aerial vehicles for smart cities: estimations of urban locality for optimization flights // *Methods and applications of geospatial technology in sustainable urbanism*. 2021. С. 444–477.
15. Seraj E., Silva A., Gombolay M. Multi-uav planning for cooperative wildfire coverage and tracking with quality-of-service guarantees // *Autonomous agents and multi-agent systems*. 2022. Т. 36. № 2. С. 1–39.
16. Калач А.В., Сысоева Т.П. Система мониторинга нефте и газопроводов // *Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Красноярск, 2021*. С. 27–30.
17. Shraim H., Awada A., Youness R. A survey on quadrotors: configurations, modeling and identification, control, collision avoidance, fault diagnosis and tolerant control // *IEEE Aerospace and electronic systems magazine*. 2018. Т. 33. № 7. С. 14–33.
18. Noguchi T., Komiya Y. Persistent cooperative monitoring system of disaster areas using uav networks // *Proceedings – 2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence and Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/UIC/ATC/SCALCOM/IOP/SCI)*. 2019. С. 1595–1600.
19. Степанов Р.А., Белкин Д.С., Перевалов А.С. Перспективы развития и применения беспилотных воздушных судов в МЧС России // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2017. № 2 (42). С. 36–43.
20. Ultralight paraglider uas for emergency response and remote sensing / A. Salistean [et al.] // *Geodesy and mine surveying; photogrammetry and remote sensing; cartography and gis: 19th international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2019, conference proceedings*. Sophia, 2019. С. 1037–1042.
21. Жирнова Н.А., Шарафутдинова Э.Ф. Использование беспилотных летательных аппаратов в деятельности службы поискового и аварийно-спасательного обеспечения

полетов и МЧС Российской Федерации // OPEN INNOVATION: сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 44–46.

22. Багажков Д.И., Наумов А.В., Волков В.В. Особенности использования беспилотных летательных аппаратов в МЧС России // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сб. материалов V Всерос. науч.-практ. конф. 2018. С. 22–24.

23. Парамонов И.Ю., Квасов М.Н., Шайтор С.А. Методика планирования поисково-спасательных работ с использованием средств радиомониторинга воздушного базирования // Безопасность жизнедеятельности. 2020. № 8 (236). С. 36–40.

24. Беспилотные авиационные системы вертолетного типа и их тактико-технические характеристики, применяемые в системе МЧС России: свидетельство о регистрации базы данных № 2022623653 от 23.12.2022 / Сысоева Т.П., Кухарев А.А., Калач А.В., Агеев П.М., Мусиенко Т.В. Заявка № 2022623240 от 30.11.2022.

25. Беспилотные авиационные системы самолетного типа и их тактико-технические характеристики, применяемые в системе МЧС России: свидетельство о регистрации базы данных № 2023620425 от 01.02.2023 / Сысоева Т.П., Кухарев А.А., Калач А.В., Агеев П.М., Мусиенко Т.В. Заявка № 2023620074 от 18.01.2023.

References:

1. Osobennosti primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlya monitoringa ob"ektov neftegazovogo kompleksa / A.V. Kalach [i dr.] // Sibirskij pozharно-spasatel'nyj vestnik. 2022. № 2 (25). S. 111–115.

2. Pupylin V.I., Filimonov P.B. Sostoyanie i problemy primeneniya bespilotnoj aviatsii MCHS Rossii // Sovremennye problemy transportno-tekhnologicheskoy i avarijno-spasatel'noj tekhniki v sisteme MCHS: sb. trudov HKHVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2018. S. 87–92.

3. Software package for searching people and vehicles using unmanned aerial vehicles / D. Bulatitskiy [et al.] // CEUR Workshop Proceedings. 31. Ser.: GraphiCon 2021 – Proceedings of the 31st International conference on computer graphics and vision. 2021. P. 942–953.

4. Katin O.I., Belozerov V.V. Advantages of using an agro-fire airship for solving problems of agriculture and fire protection // European journal of natural history. 2021. № 2. P. 72–76.

5. Andreichuk A.P., Gurko A.V. Trends in artificial intelligence and robotics technologies in the arctic: the russian experience // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2022. № 10-2. P. 24–38.

6. Control of unmanned aerial vehicles during fire situation monitoring / V.N. Evdokimenkov [et al.] // INCAS Bulletin. 2019. T. 11. № 1. P. 67–73.

7. Kalach A.V., Sysoeva T.P., Lobova S.F. Osnovnye problemy ekspluatatsii bespilotnyh letatel'nyh apparatov v hode issledovaniya mesta pozhara i preduprezhdeniya chrezvychajnyh situatsij // Aktual'nye problemy pozharноj bezopasnosti: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 85-letiyu obrazovaniya. M.: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022. S. 503–512.

8. Intelligent mobile object monitoring by unmanned aerial vehicles / V. Knyaz [et al.] // EUROCON 2019 – 18th International conference on smart technologies. 2019. № 18. P. 8861575.

9. Ajith V.S., Jolly K.G. Unmanned aerial systems in search and rescue applications with their path planning: a review // Journal of physics: Conference series 2. Ser.: 2nd International conference on robotics, intelligent automation and control technologies, RIACT 2021. 2021. P. 012020.

10. Sdn-assisted unmanned aerial system for monitoring sensor data / V. Vishnevsky [et al.] // 12th International congress on ultra modern telecommunications and control systems and workshops (ICUMT). Brno, 2020. P. 313–317.

11. Dudarev A.V. Primenenie BLA v strukture MCHS Rossii dlya predotvrashcheniya likvidatsii chrezvychajnyh situatsij // Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremennye problemy i puti resheniya: sb. trudov Vseros. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenykh, aspirantov i studentov.

Tomsk, Yurga: *Nac. Issled. Tomskij politekh. un-t; Yurginskij tekhnolog. in-t*, 2018. S. 405–407.

12. Al Said N., Gorbachev Y., Avdeenko A. An unmanned aerial vehicles navigation system on the basis of pattern recognition applications-review of implementation options and prospects for development // *Software – Practice and Experience*. 2021. T. 51. № 7. P. 1509–1517.

13. Zhang J., Huang H. Occlusion-aware uav path planning for reconnaissance and surveillance // *Drones*. 2021. T. 5. № 3.

14. Shmelova T., Burlaka O., Lazorenko V. Unmanned aerial vehicles for smart cities: estimations of urban locality for optimization flights // *Methods and applications of geospatial technology in sustainable urbanism*. 2021. P. 444–477.

15. Seraj E., Silva A., Gombolay M. Multi-uav planning for cooperative wildfire coverage and tracking with quality-of-service guarantees // *Autonomous agents and multi-agent systems*. 2022. T. 36. № 2. P. 1–39.

16. Kalach A.V., Sysoeva T.P. Sistema monitoringa nefte i gazoprovodov // *Monitoring, modelirovanie i prognozirovanie opasnyh prirodnyh yavlenij i chrezvychajnyh situacij: sb. materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Krasnoyarsk*, 2021. S. 27–30.

17. Shraim H., Awada A., Youness R. A survey on quadrotors: configurations, modeling and identification, control, collision avoidance, fault diagnosis and tolerant control // *IEEE Aerospace and electronic systems magazine*. 2018. T. 33. № 7. S. 14–33.

18. Noguchi T., Komiya Y. Persistent cooperative monitoring system of disaster areas using uav networks // *Proceedings – 2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence and Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/UIC/ATC/SCALCOM/IOP/SCI)*. 2019. P. 1595–1600.

19. Stepanov R.A., Belkin D.S., Perevalov A.S. Perspektivy razvitiya i primeneniya bespilotnyh vozдушnyh sudov v MCHS Rossii // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2017. № 2 (42). S. 36–43.

20. Ultralight paraglider uas for emergency response and remote sensing / A. Salistean [et al.] // *Geodesy and mine surveying; photogrammetry and remote sensing; cartography and gis: 19th international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2019, conference proceedings*. Sophia, 2019. P. 1037–1042.

21. Zhirnova N.A., Sharafutdinova E.F. Ispol'zovanie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v deyatel'nosti sluzhby poiskovogo i avarijno-spasatel'nogo obespecheniya poletov i MCHS Rossijskoj Federacii // *OPEN INNOVATION: sb. statej VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* 2018. S. 44–46.

22. Bagazhkov D.I., Naumov A.V., Volkov V.V. Osobennosti ispol'zovaniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v MCHS Rossii // *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernyh sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob"ektov: sb. materialov V Vseros. nauch.-prakt. konf.* 2018. S. 22–24.

23. Paramonov I.Yu., Kvasov M.N., Shajtor S.A. Metodika planirovaniya poiskovo-spasatel'nyh rabot s ispol'zovaniem sredstv radiomonitoringa vozдушnogo bazirovaniya // *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2020. № 8 (236). S. 36–40.

24. Bespilotnye aviacionnye sistemy vertoletnogo tipa i ih taktiko-tekhnicheskie harakteristiki, primenyaemye v sisteme MCHS Rossii: svidetel'stvo o registracii bazy dannyh № 2022623653 ot 23.12.2022 / Sysoeva T.P., Kuharev A.A., Kalach A.V., Ageev P.M., Musienko T.V. Zayavka № 2022623240 ot 30.11.2022.

25. Bespilotnye aviacionnye sistemy samoletnogo tipa i ih taktiko-tekhnicheskie harakteristiki, primenyaemye v sisteme MCHS Rossii: svidetel'stvo o registracii bazy dannyh № 2023620425 ot 01.02.2023 / Sysoeva T.P., Kuharev A.A., Kalach A.V., Ageev P.M., Musienko T.V. Zayavka № 2023620074 ot 18.01.2023.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 02.05.2023; одобрена после рецензирования: 28.08.2023;
принята к публикации: 11.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 02.05.2023; approved after review: 28.08.2023;
accepted for publication: 11.09.2023

Информация об авторе:

Сысоева Татьяна Павловна, старший научный сотрудник отдела инновационных и информационных технологий в экспертизе пожаров исследовательского центра экспертизы пожаров научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: syisik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0230-465>, SPIN-код: 3683-2066

Information about the author:

Sysoeva Tatiana P., senior researcher of the department of innovative and information technologies in the examination of fires of the research center for the examination of fires of the research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety of the Saint-Petersburg university of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave, 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: syisik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0230-465>, SPIN: 3683-2066

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.841.332:678.763.2; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-60-66

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ХЛОРСОДЕРЖАЩЕГО СВЯЗУЮЩЕГО

Долженков Анатолий Филиппович;

✉ Лебедева Виктория Валентиновна.

Научно-исследовательский институт «Респиратор» МЧС Донецкой Народной
Республики, г. Донецк, Россия

✉ olghrap@mail.ru

Аннотация. Показана возможность и целесообразность оценки огнезащитных свойств покрытий на примере хлорсодержащей огнезащитной композиции по критериям, количественно характеризующим процесс вспучивания – степени вспучивания, изменению массы, плотности и пористости кокса, образующегося в результате нагрева образцов. Степень вспучивания и изменение массы образцов покрытия определяли стандартными методами, изменение плотности и пористости кокса – расчетным методом на основании экспериментальных данных. Получены кривые зависимости параметров вспучивания покрытия от температуры. Результаты исследования показали, что эти параметры можно использовать в качестве оценочных критериев при создании рецептов и дальнейшей оптимизации свойств покрытий, предназначенных для защиты строительных конструкций в условиях экстремальных тепловых воздействий.

Ключевые слова: вспененный кокс, изменение массы, огнезащитная эффективность, плотность, пористость, степень вспучивания

Для цитирования: Долженков А.Ф., Лебедева В.В. Критерии оценки огнезащитных свойств композиции на основе хлорсодержащего связующего // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 60–66. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-60-66.

Scientific article

CRITERIA FOR EVALUATING THE FIRE-PROOF PROPERTIES OF COMPOSITION BASED ON CHLORINE-CONTAINING BINDING AGENT

Dolzhenkov Anatoly F.;

✉ Lebedeva Viktoria V.

The scientific research institute «Respirator» of EMERCOM of the Donetsk People Republic,
Donetsk, Russia

✉ olghrap@mail.ru

Abstract. The possibility and expediency of evaluating the properties of the flame retardant coatings has been exemplified by the chlorine-containing flame-retardant composition according to the criteria quantitatively characterizing the process of coating intumescence, i.e. intumescence ratio, mass variation, density and porosity of the foamed coke formed as a result of heating the samples. The degree of intumescence and changing in mass of the coating samples have been determined according to the conventional techniques; density and porosity variations of coke have been measured by the computation based on the experiment data. The curves of dependence

between the intumescence parameters of coating and the temperature have been derived. The results of the investigation showed that these parameters may be applied as the evaluation criteria for comprising the formulae and further optimization of coatings properties designed to protect building constructions in conditions of extreme heat exposure.

Keywords: foamed coke, mass changing, flame-retardant effectiveness, density, porosity, degree of intumescence

For citation: Dolzhenkov A.F., Lebedeva V.V. Criteria for evaluating the fire-proof properties of composition based on chlorine-containing binding agent // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 60–66. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-60-66.

Введение

Мероприятия по снижению пожарной опасности зданий и сооружений предусматривают повышение пределов огнестойкости строительных элементов и конструкций. Эффективный способ повышения огнестойкости строительных конструкций заключается в применении огнезащитных покрытий вспучивающегося типа, принцип защитного действия которых состоит в образовании под воздействием высоких температур вспученного угольного кокса низкой плотности и теплопроводности. Создание высокоэффективных огнезащитных материалов – сложная научно-техническая задача, решение которой требует комплексного проведения как теоретических, так и экспериментальных исследований стандартных образцов огнезащищенных конструкций в условиях, приближенных к реальному пожару.

Альтернативой дорогостоящим и требующим длительного периода времени полномасштабным испытаниям можно считать исследования с использованием экспериментальных образцов материалов и конструктивных элементов на лабораторных установках, позволяющих воспроизводить результаты полномасштабных испытаний [1, 2]. Такой методологический подход экономически обоснован и может быть использован для исследований и установления экспериментальных зависимостей влияния эксплуатационных параметров на огнезащитные свойства покрытий, а также построения математических моделей при значительной экономии материальных и временных ресурсов.

Исследования по определению и оптимизации эксплуатационных параметров огнезащитных покрытий вспучивающегося типа на основе различных полимерных связующих веществ активно продолжают по сегодняшний день [3–6]. Вместе с тем создание огнезащитных композиций и покрытий на их основе, отличающихся повышенной водостойкостью, влагостойкостью, механическими и теплофизическими параметрами, требует дальнейших исследований по изучению физико-механических свойств огнезащитных средств для дальнейшей оценки и прогнозирования огнезащитной эффективности в условиях пожара [7–9].

Исходя из актуальности проблемы, определена цель исследований, которая заключается в определении критериев, количественно характеризующих вспучивание огнезащитной композиции для оценки ее эффективности в экстремальных условиях тепловых воздействий.

Методика исследования

Объект исследования представляет собой огнезащитную композицию, содержащую в качестве огнестойкого связующего пленкообразующего вещества смесь хлоропренового каучука марки CR2322 и хлорированного парафина. Рецепт огнезащитной композиции разработана на базе Научно-исследовательского института «Респиратор» МЧС Донецкой Народной Республики (НИИ «Респиратор» МЧС ДНР) [10, 11].

Критериями количественной оценки процесса вспучивания огнезащитной композиции приняты характеристики материала покрытия: степень вспучивания, масса, плотность

и пористость кокса, образующегося в результате нагрева образцов. Степень вспучивания определяли путем измерения линейных размеров образцов до и после выдержки в условиях нагрева, изменение массы – весовым методом, изменение плотности и пористости кокса – расчетным методом на основании экспериментальных данных.

Первый этап экспериментальных исследований включал приготовление огнезащитной композиции: растворение хлорсодержащего связующего вещества в сольвенте и введение в полученный однородный раствор функциональных составляющих: вспенивающих агентов, наполнителя, пигмента согласно разработанной рецептуре. Второй этап исследований предусматривал подготовку экспериментальных образцов покрытия, которые получали путем заливки композиции слоем $(0,8-1,0) \cdot 10^{-3}$ м в формы размером $(65 \times 30 \times 15) \cdot 10^{-3}$ м, изготовленные из алюминиевой фольги толщиной $(0,014-0,018) \cdot 10^{-3}$ м марки ФГ. После сушки при комнатной температуре до полного испарения сольвента и образования твердого слоя покрытия образцы подвергали нагреву в испытательной (муфельной) печи в диапазоне температур 300–950 К с шагом 50 К. Время выдержки образцов при каждой из температур диапазона составило 20 мин.

Степень вспучивания Δh , изменение массы Δm образцов покрытия в процессе их нагревания рассчитывали по формулам (1–2):

$$\Delta h = \frac{h - h_0}{h_0}, \quad (1)$$

где h – высота покрытия после нагревания, м; h_0 – исходная толщина покрытия, м.

$$\Delta m = \frac{m}{m_0}, \quad (2)$$

где m – масса покрытия после нагревания, кг; m_0 – исходная масса покрытия, кг.

Для расчета плотности ρ ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$) вспененного кокса использовали формулу (3), пористости φ – формулу (4).

$$\rho = \frac{\rho_0 \Delta m}{1 + \Delta h}, \quad (3)$$

где ρ_0 – начальная плотность покрытия, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

$$\varphi = 1 - \frac{\Delta m}{1 + \Delta h}. \quad (4)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Температура нагревания оказывает существенное влияние на величину степени вспучивания и состояние материала покрытия: однородность, компактность, рыхлость и летучесть образованного кокса. Упорядоченная и сравнительно плотная структура материала наблюдается при температуре 500 К, при этом изменение степени вспучивания составляет 12,5 раза. Нагревание образцов в диапазоне температур 500–950 К приводит к увеличению высоты коксового слоя в 13–40 раз и сохранению мелко пористого кокса, но более рыхлой структуры.

На основании результатов экспериментальных исследований получены зависимости, которые аппроксимированы уравнениями полинома второго порядка с коэффициентом корреляции $r = 0,92-0,98$. На кривой зависимости степени вспучивания от температуры нагревания образцов прослеживаются два участка, которые соответствуют увеличению высоты коксового слоя (рис. 1).

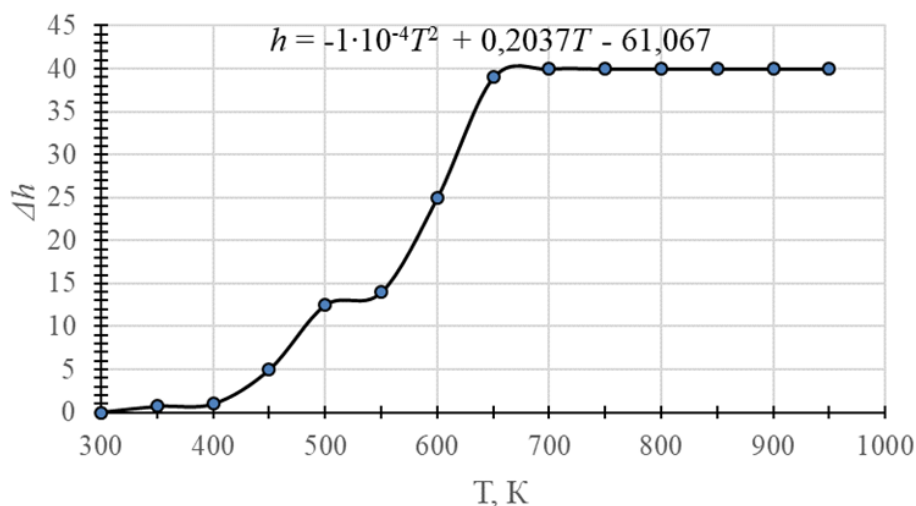


Рис. 1. Зависимость степени вспучивания от температуры нагревания образца

Первый участок вспучивания находится в области температур 400–550 К, второму участку соответствует интервал температур 550–650 К. Далее происходит выравнивание кривой с практически постоянными значениями степени вспучивания до 39–40 единиц. Высота первого горизонтального участка находится на уровне значений степени вспучивания 12,5–14 единиц, что можно отнести к преимуществу огнезащитной композиции, поскольку при этом замедляется процесс переноса тепла. Резкое увеличение степени вспучивания покрытия начинается с температуры 550 К.

В области температур 700–900 К происходит уменьшение изменения массы образца с 0,92 до 0,53 единиц, при этом конечный выход кокса составляет 0,5 единицы (рис. 2).

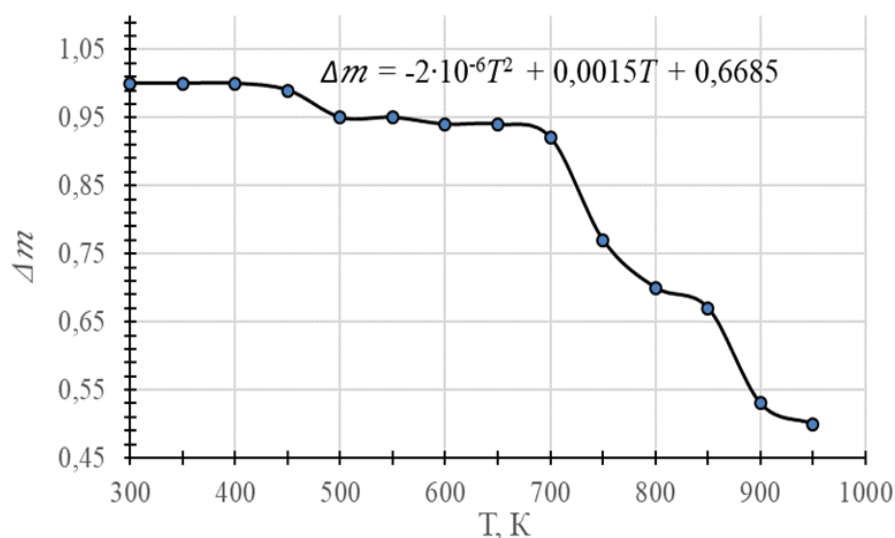


Рис. 2. Зависимость изменения массы от температуры нагревания образца

Ступенчатый характер кривой (рис. 2) можно объяснить многостадийным механизмом действия покрытия – термоокислительной деструкцией материала связующего пленкообразующего вещества, формированием и термической деструкцией образовавшегося вспененного кокса. Для покрытия в начальный период нагрева характерно преобладание вспучивания над процессом выделения газообразных продуктов. При температуре 500 К и потере массы 5 % от первоначальной имеет место 13-кратное увеличение слоя покрытия, что является одним из главных механизмов формирования его огнезащитных свойств.

На рис. 3 показано, что изменение плотности кокса на первом участке вспучивания в зависимости от температуры нагревания образца составляет 24 раза, на втором участке – всего два раза, что связано с более ранним началом формирования каркасной структуры вспененного кокса.

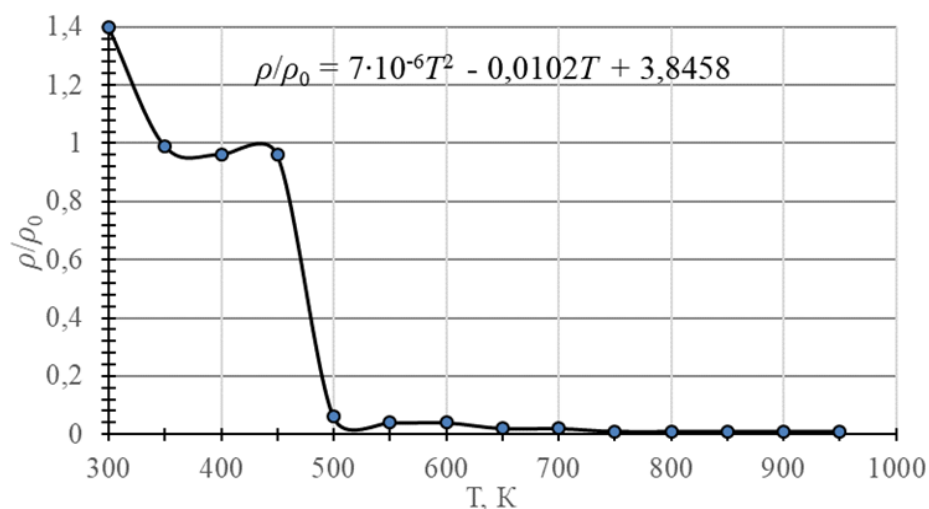


Рис. 3. Зависимость изменения плотности кокса от температуры нагревания образца

Кривая зависимости пористости кокса от температуры нагревания образца (рис. 4) имеет резкий рост значений от 0,02 до 0,9 единицы на первом участке вспучивания. Конечное значение пористости кокса составляет 0,98–0,99 единицы.

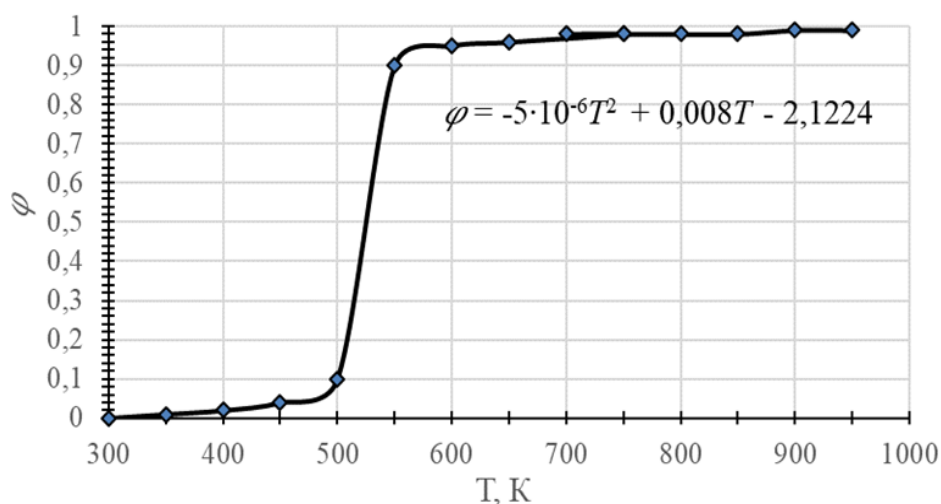


Рис. 4. Зависимость пористости кокса от температуры нагревания образца

В твердом теле при изменении поля температур в пространстве и во времени толщина вспученного слоя значительно влияет на огнезащитную эффективность покрытия. С одной стороны, увеличение степени вспучивания до 40 единиц можно отнести к преимуществу огнезащитной композиции, однако дальнейшее увеличение толщины слоя кокса может отрицательно влиять на механическую и когезионную прочности кокса за счет усиления радиационного переноса тепла в пористой среде.

Таким образом, логично предположить, что для получения требуемых параметров огнезащитной эффективности покрытия наиболее эффективно снижение потери массы, а также повышение плотности и прочности вспененного кокса при оптимальной степени вспучивания.

Заключение

Определены параметры кокса, образующегося в результате вспучивания огнезащитной композиции на основе хлорсодержащего связующего вещества.

Получены зависимости, которые характеризуют влияние температуры на степень вспучивания, изменение массы, плотности и пористости кокса, что позволило получить более детальную информацию о поведении покрытия на различных стадиях термического нагрева.

Показана принципиальная возможность и целесообразность комплексной оценки огнезащитного покрытия по критериям, характеризующим процесс вспучивания материала.

Перспективное направление дальнейших исследований заключается в проведении аналогичных экспериментов с огнезащитными составами на основе различных связующих пленкообразующих веществ, например, эпоксидных смол, хлорсульфированного полиэтилена для получения информации о параметрах, влияющих на огнезащитные свойства покрытий.

Список источников

1. Intumescent reaction mechanisms / Ch.E. Anderson [et al.] // *Journal of fire science*. 1985. Vol. 3. P. 161.
2. Бардин А.В., Сударь О.Ю. Огнестойкость металлоконструкций на примере метода численного моделирования // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 8 (35). С. 36–47.
3. Терморасширяющиеся полимерные композиционные материалы / Р.В. Кропачев [и др.] // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. № 5. С. 60–63.
4. Reaction to fire of an intumescent epoxy resin: Protection mechanisms and synergy / C. Gérard [et al.] // *Polymer degradation and stability*. 2012. Vol. 97 (8). P. 1366–1386.
5. Зверев В.Г., Теплоухов А.В., Цимбалюк А.Ф. Исследование свойств и огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2014. Т. 57. № 8/2. С. 148–153.
6. Иванов А.В. Применение «нанокompозитного подхода» при создании огнезащитных вспучивающихся составов // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2023. № 1 (65). С. 171–181.
7. Polymer composites with high energy density and charge-discharge efficiency at high temperature using aluminum oxide particles / Z. Fan [et al.] // *Journal of materials research and technology*. 2022. Vol. 18. P. 4367–4374.
8. Hodgins D.A. Midrise wood frame construction: a good idea or are we asking for trouble? // *Eighth congress on forensic engineering*. Reston, Virginia: American society of civil engineers. 2018. P. 62–72.
9. Еремина Т.Ю., Портнов Т.Ю. Проблемы и перспективы в области огнестойкости деревянных конструкций для высотных зданий // *Пожаровзрывобезопасность*. 2020. Т. 29. № 2. С. 34–43.
10. Долженков А.Ф., Лебедева В.В. Устойчивость огнезащитного покрытия к воздействию природных и техногенных факторов // *Научный вестник НИИ «Респиратор»*. 2022. № 3 (59). С. 18–26.
11. Лебедева В.В., Непочатых И.Н. Оптимизация состава огнезащитного покрытия методом симплекс-решетчатого планирования // *Научный вестник НИИ «Респиратор»*. 2022. № 4 (59). С. 60–65.

References

1. Intumescent reaction mechanisms / Ch.E. Anderson [et al.] // Journal of fire science. 1985. Vol. 3. P. 161.
2. Bardin A.V., Sudar' O.Yu. Ognestojkost' metallokonstrukcij na primere metoda chislenogo modelirovaniya // Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2015. № 8 (35). S. 36–47.
3. Termorasshiryayushchiesya polimernye kompozicionnye materialy / R.V. Kropachev [i dr.] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T. 18. № 5. S. 60–63.
4. Reaction to fire of an intumescent epoxy resin: Protection mechanisms and synergy / C. Gérard [et al.] // Polymer degradation and stability. 2012. Vol. 97 (8). P. 1366–1386.
5. Zverev V.G., Teplouhov A.V., Cimbalyuk A.F. Issledovanie svojstv i ogneshchitnoj effektivnosti vspuchivayushchihsya pokrytij // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Fizika. 2014. T. 57. № 8/2. S. 148–153.
6. Ivanov A.V. Primenenie «nanokompozitnogo podhoda» pri sozdanii ogneshchitnyh vspuchivayushchihsya sostavov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 1 (65). S. 171–181.
7. Polymer composites with high energy density and charge-discharge efficiency at high temperature using aluminum oxide particles / Z. Fan [et al.] // Journal of materials research and technology. 2022. Vol. 18. P. 4367–4374.
8. Hodgin D.A. Midrise wood frame construction: a good idea or are we asking for trouble? // Eighth congress on forensic engineering. Reston, Virginia: American society of civil engineers. 2018. P. 62–72.
9. Eremina T.Yu., Portnov T.Yu. Problemy i perspektivy v oblasti ogneshchitnosti derevyannyh konstrukcij dlya vysotnyh zdaniy // Pozharovzryvobezopasnost'. 2020. T. 29. № 2. S. 34–43.
10. Dolzhenkov A.F., Lebedeva V.V. Uстойчивость ogneshchitnogo pokrytiya k vozdeystviyu prirodnyh i tekhnogennyh faktorov // Nauchnyj vestnik NII «Respirator». 2022. № 3 (59). S. 18–26.
11. Lebedeva V.V., Nepochatyh I.N. Optimizaciya sostava ogneshchitnogo pokrytiya metodom simpleks-reshchatogo planirovaniya // Nauchnyj vestnik NII «Respirator». 2022. № 4 (59). S. 60–65.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 30.06.2023; одобрена после рецензирования: 06.09.2023; принята к публикации: 12.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 30.06.2023; approved after review: 06.09.2023; accepted for publication: 12.09.2023

Информация об авторах:

Долженков Анатолий Филиппович, заместитель директора (по научной работе) Научно-исследовательского института «Респиратор» МЧС Донецкой Народной Республики (283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru, SPIN-код: 7763-8244

Лебедева Виктория Валентиновна, аспирант; старший научный сотрудник Научно-исследовательского института «Респиратор» МЧС Донецкой Народной Республики (283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 157), e-mail: olghrap@mail.ru, SPIN-код: 9777-7155

Information about the authors:

Dolzhenkov Anatoly F., deputy director (on science) of Scientific research institute «Respirator» of EMERCOM of Donetsk People's Republic (283048, Donetsk, Artyoma str., 157), doctor of technical sciences, senior scientific associate, e-mail: dolzhenkov_52@mail.ru, SPIN: 7763-8244

Lebedeva Viktoria V., post-graduate, senior scientific associate of Scientific research institute «Respirator» of EMERCOM of Donetsk People's Republic (283048, Donetsk, Artyoma str., 157), e-mail: olghrap@mail.ru, SPIN: 9777-7155

Научная статья

УДК 614.849; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-67-78

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Федотов Илья Олегович;

✉ **Сивенков Андрей Борисович.**

Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия.

Нагановский Юрий Кузьмич.

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

✉ sivenkov01@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены результаты оценки огнезащитной эффективности различных антипиренов методом огневого воздействия по ГОСТ 53292–2009 и методами термического анализа (термогравиметрия, дифференциальная термогравиметрия, производный термический анализ). По результатам огневых испытаний установлено, что при расходе поверхностного нанесения огнезащитных составов от 350 до 550 кг/м² обеспечивается I или II группа огнезащитной эффективности (потеря массы от 8,67 до 25 %). Показано, что группа огнезащитной эффективности фактически не отражает характер и степень реализации механизма огнезащитного действия антипиренов, их способность оказывать влияние на особенности термических превращений древесины. Установлено, что вид антипирена, его химический компонентный состав и механизм огнезащитного действия в различной степени оказывают влияние на основные стадии термоокислительного разложения древесины. Полученные результаты могут использоваться для оценки эффективности огнезащиты в снижении интенсивности процесса обугливания и прогнозирования интенсивности тлеющего (беспламенного) горения древесины.

Ключевые слова: антипирены, огнезащитная эффективность, древесина, деревянные конструкции, огнестойкость, пожарная опасность, обугливание, окисление, беспламенное (тлеющее) горение, коксообразование, каталитическая дегидратация

Для цитирования: Федотов И.О., Сивенков А.Б., Нагановский Ю.К. Эффективность огнезащитных пропиточных составов для деревянных конструкций // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 67–78. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-67-78.

Scientific article

THE EFFECTIVENESS OF FLAME RETARDANT IMPREGNATING COMPOUNDS FOR WOODEN STRUCTURES

Fedotov Ilya O.;

✉ **Sivenkov Andrey B.**

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

Naganovsky Yuri K.

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

✉ sivenkov01@mail.ru

Abstract. The article considers the results of evaluating the flame retardant effectiveness of various flame retardants by the method of fire exposure according to GOST 53292–2009 and by methods of thermal analysis (thermogravimetry, differential thermogravimetry, derivative thermal analysis). According to the results of fire tests, it was found that with the consumption

of surface application of flame retardants from 350 to 550 kg/m², group I or II of flame retardant efficiency is provided (mass loss from 8,67 to 25 %). It is shown that the group of flame-retardant effectiveness does not actually reflect the nature and degree of realization of the mechanism of flame retardant action of flame retardants, their ability to influence the features of thermal transformations of wood. It has been established that the type of flame retardant, its chemical component composition and the mechanism of flame retardant action to varying degrees affect the main stages of thermal oxidative decomposition of wood. The results obtained can be used to evaluate the effectiveness of fire protection in reducing the intensity of the charring process and predicting the intensity of smoldering (flameless) combustion of wood.

Keywords: flame retardants, flame retardant efficiency, wood, wooden structures, fire resistance, fire hazard, charring, oxidation, flameless (smoldering) combustion, coke formation, catalytic dehydration

For citation: Fedotov I.O., Sivenkov A.B., Naganovsky Yu.K. The effectiveness of flame retardant impregnating compounds for wooden structures // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 67–78. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-67-78.

Введение

В современное время во всем мире наблюдается возрастающий интерес к строительству зданий и сооружений с применением деревянных конструкций. Основным направлением обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений с применением строительных конструкций из древесины является соответствие требуемым пределам огнестойкости и классам пожарной опасности, которые могут достигаться с помощью применения различных видов и способов огнезащиты. В соответствии со ст. 52, 58 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» предопределена важность применения огнезащитных средств для достижения требуемых показателей пожарной опасности и огнестойкости строительных конструкций, а также для исключения или снижения интенсивности образования опасных факторов пожара [1]. Несмотря на это, изучению возможности применения различных способов и видов огнезащиты для этих целей посвящено немногочисленное количество научных работ, например [2, 3].

Успешному внедрению огнезащитных технологий для обеспечения пожаробезопасности деревянных конструкций предшествовали многочисленные исследования с использованием пожарно-технических и физико-химических методов. Однако своеобразный исторический разрыв между методологией оценки эффективности огнезащиты для древесины и нормативно-техническими показателями применения огнезащиты для материалов и конструкций на основе древесины в полной мере пока восполнить не удастся. Исследования в данном случае носят адресный и в какой-то степени локальный характер в отношении конкретных огнезащитных средств без выяснения вопроса влияния химического компонентного состава огнезащиты, а также механизма огнезащитного действия на ключевые показатели пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций. Несомненно, совершенствование методологии оценки эффективности огнезащитных средств для древесины и деревянных конструкций и поиск ключевых показателей эффективности огнезащиты является составной частью стратегически важного для отрасли строительства направления исследований. В этой связи авторам представляется важным выяснение влияния природы химических компонентов, входящих в состав рецептур различных огнезащитных пропиточных составов, с учетом механизма их огнезащитного действия на особенности термических превращений древесины, являющихся основой для прогнозной оценки показателей пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций. В этом аспекте важнейшим является изучение процесса обугливания древесины, определяющего особенности поведения материалов и конструкций на основе древесины в условиях пожара. Толщина, свойства и структура образующегося обугленного слоя, в том числе с позиции применения различного рода антипиренов, играют при этом решающую роль.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования рассматривались авторские рецептуры огнезащитных пропиточных составов с различными механизмами действия, способствующие снижению интенсивности прогрева и скорости обугливания древесины [4]. Исследуемые огнезащитные пропиточные составы представляют собой составы, включающие в себя классические фосфор-, азот- и борсодержащие антипирены. Концентрация рабочих компонентов в водном растворе была установлена не менее 29,5 % с учетом растворимости химических реагентов. При формировании рецептур огнезащитных составов исходили, прежде всего, из необходимости изучения антипиренов, имеющих различную химическую природу и механизмы огнезащитного действия.

На сегодняшний день определение группы огнезащитной эффективности средств огнезащиты для древесины и материалов на ее основе осуществляется по ГОСТ Р 53292–2009 «Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа» [5]. Сущность метода заключается в установлении потери массы образцом древесины с огнезащитой в результате огневого воздействия продолжительностью 2 мин. Критерием оценки эффективности огнезащиты является потеря массы образцов при испытании.

В табл. 1 представлены характеристики исследуемых огнезащитных пропиточных составов, их компонентный состав и преобладающий механизм огнезащитного действия.

Таблица 1

Характеристики исследуемых огнезащитных составов

№ образца	Наименование образца, химический компонентный состав антипиренов	Преобладающий механизм огнезащитного действия
1	Нативная древесина (древесина сосны, плотность 450–500 кг/м ³ , влажность 6–8 %)	–
2	Древесина сосны с антипиреном на основе солей аммония фосфорной кислоты (20 %), газообразователей (5 %), фторида натрия (3 %), поверхностно-активных веществ и ароматических полифункциональных компонентов (1,5 %)	Каталитическая дегидратация
3	Древесина сосны с антипиреном на основе полифосфата аммония (30 %), газообразователей (10 %), ароматических полифункциональных компонентов (0,5 %) и термопластичного полимера (10 %)	Каталитическая дегидратация
4	Древесина сосны с антипиреном на основе полифосфата аммония (20 %), газообразователей (10 %), комплекса многоатомных спиртов (20 %) и ароматических полифункциональных компонентов (0,5 %)	Коксообразование
5	Древесина сосны с антипиреном на основе солей аммония фосфорной кислоты (20 %), низкомолекулярных углеводов (10 %) и многоатомных спиртов (10 %)	Коксообразование
6	Древесина сосны с антипиреном на основе солей аммония фосфорной кислоты (20 %), газообразователей (20 %), многоатомных спиртов (19,5) и борсодержащих соединений (0,5 %)	Коксообразование

Исследования особенностей термоокислительного разложения образцов древесины нативной и в присутствии антипиренов проводились с использованием автоматизированной модульной термоаналитической системы (ТАС) «Du Pont 9900», включающей в свой состав термовесы ТГА-951. Для подготовки образцов с поверхности древесины (размер образца 25x27 см) были отобраны тонкослойные срезы (размеры срезов составляют 4x4 мм и глубиной 1 мм). Навеска образцов изменялась в пределах 5,0–8,0 мг.

Результаты и их обсуждение

В настоящей работе важным представляется оценка эффективности рассматриваемых огнезащитных пропиточных составов, имеющих различный химический состав и механизмы огнезащитного действия, в рамках стандартных огневых испытаний, а также установление их способности оказывать влияние на характер термических превращений древесины, представленных на рис. 1.



Рис. 1. Фото образцов древесины после испытаний по ГОСТ Р 53292–2009: а – 1; б – 2; в – 3; г – 4; д – 5; е – 6 (номера образцов представлены в табл. 1)

Результаты огневых испытаний рассматриваемых огнезащитных пропиточных составов по методике, изложенной в ГОСТ Р 53293–2009 [5], представлены в табл. 2.

Результаты огневых испытаний огнезащитных пропиточных составов по ГОСТ Р 53292–2009 [5]

№ образца	Расход поверхностного нанесения состава, г/м ²	Группа огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292–2009 (потеря массы, %)
1	–	Потеря массы 84,9 %
2	350	II группа огнезащитной эффективности (25,0 %)
3	400	Не обладает эффективностью (36,0 %)
4	450	I группа огнезащитной эффективности (8,67 %)
5	550	II группа огнезащитной эффективности (18,8 %)
6	500	II группа огнезащитной эффективности (19,0 %)

Полученные результаты по определению группы огнезащитной эффективности показали, что антипирены, имеющие преобладающий механизм каталитической дегидратации, относятся ко второй группе эффективности при соответствующем расходе. При этом потеря массы вне зависимости от содержания различных химических компонентов в исследуемых составах имеет сопоставимые значения. Несмотря на это, некоторые пропиточные составы, содержащие комплекс кислотосодержащих соединений и вспомогательных компонентов, образующие при огневом воздействии на защищаемой поверхности вспененный коксообразный слой толщиной до 15 мм, отличаются в значительной степени друг от друга по потере массы в пределах от 8,67 % (I группа огнезащитной эффективности) до 19,0 % (II группа огнезащитной эффективности). Очевидно, что группа огнезащитной эффективности фактически не отражает характер и степень реализации механизма огнезащитного действия антипиренов, их способность оказывать влияние на особенности термических превращений древесины.

Более информативными в данном случае являются методы термического анализа, позволяющие понять сущность протекающих физико-химических процессов при изучении эффективности различных видов пропиточных составов (антипиренов) для огнезащиты древесины. На рис. 2 представлены термогравиметрическая (ТГ) и дифференциальная термогравиметрическая (ДТГ) кривые образцов нативной древесины и древесины с огнезащитными пропиточными составами (атмосфера – воздух, скорость нагревания 20 °С/мин).

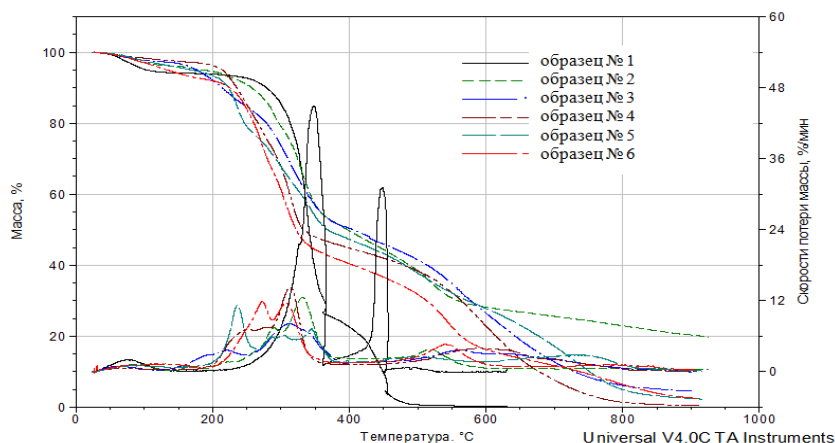


Рис. 2. ТГ (1) и ДТГ (2) кривые образцов нативной древесины и древесины с огнезащитными пропиточными составами (атмосфера – воздух, скорость нагревания 20 °С/мин)

В табл. 3 сведены результаты термического анализа нативной древесины и древесины в присутствии антипиренов (атмосфера – воздух, скорость нагревания 20 °С/мин).

Таблица 3

Результаты термического анализа нативной древесины и древесины с различными антипиренами (атмосфера – воздух, скорость нагревания 20 °С/мин)

№ образца	Температурные интервалы деструкции, °С	Потеря массы в интервале, %	ДТГ максимумы, t_{\max} , °С/А, %/ мин
1	30–154	5,9	76/2,0
	154–361	67,6	348/45,0
	361–475	25,3	449/30,5
2	30–138	3,77	83/1,2
	138–410	47,3	288/8,1 331/13,3
	410–900	28,5	516/3,9
3	30–118	2,54	62/0,9
	118–248	12,5	222/3,6
	248–397	34,3	312/8,2
	397–900	46,0	562/3,6
4	30–136	2,3	72/0,6
	136–382	51,9	250/7,1 313/15,0
	382–900	45,4	591/3,96
5	30–140	3,9	85/1,0
	140–264	19,7	236/11,2
	264–389	28,2	286/5,4 344/7,2
	389–591	19,6	499/2,5
	591–900	26,1	738/2,8
6	30–185	7,48	113/1,3
	185–400	52,1	273/11,8 309/11,6
	400–652	26,7	540/4,6
	652–900	10,96	780/1,2

Для древесины нативной можно разделить основные этапы термоокислительного разложения на три характерных температурных интервала деструкции:

– первый интервал (до 154 °С) характеризуется удалением влаги в пределах 5,0–6,0 % по массе;

– второй интервал (180–450 °С) является активным этапом термодеструкции древесины сосны, который приводит к потере массы в пределах 50–80 %. Максимальная скорость разложения достигается при температуре 348 °С;

– на третьем интервале (выше 361 °С) наблюдается стадия окисления угольного остатка с потерей массы 25,3 %. Пиковое значение достигается при температуре 449 °С с амплитудой 30,45 %/мин.

Действие пропиточного состава (обр. № 2, табл. 1), содержащего соли аммония фосфорной кислоты, характеризуется в большей степени классическим механизмом каталитической дегидратации. Схема реакций взаимодействия целлюлозы и ортофосфорной кислоты представлена на рис. 3 [6].

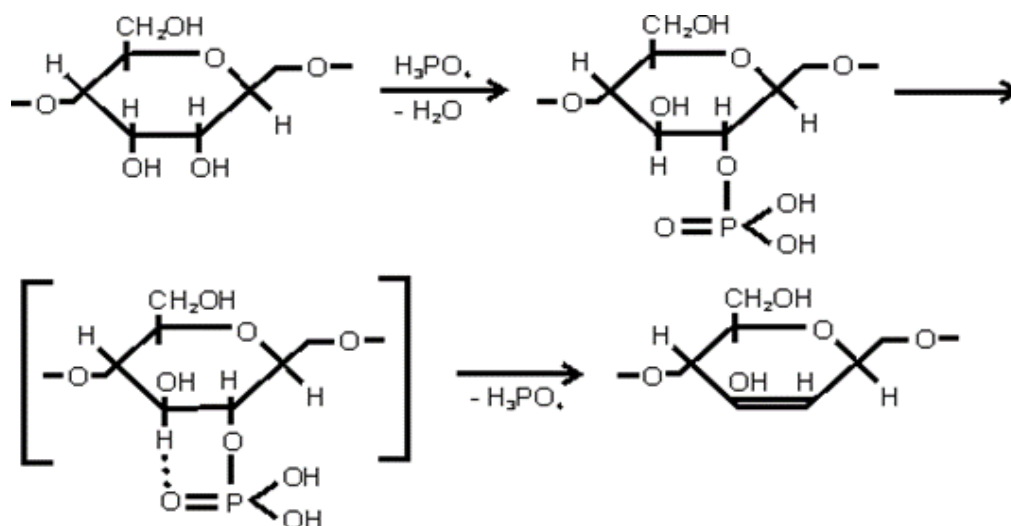


Рис. 3. Схема реакций взаимодействия целлюлозы и ортофосфорной кислоты

При повышении температуры до 180 °С высвобождается фосфорная кислота, которая способствует процессу дегидратации целлюлозы, а также выделяется аммиак, действующий по вышеуказанному механизму. При повышении температуры до 260 °С ортофосфорная кислота преобразуется в другие кислоты и воду. Ранее полученные результаты термогравиметрического анализа в отношении древесины с аналогичными пропиточными составами свидетельствуют о том, что при температуре более 200 °С потеря массы древесины в присутствии фосфорсодержащих антипиренов усиливается и достигает максимальной скорости разложения при температуре 262 °С [7].

Использование фосфорсодержащих соединений в составе антипирена приводит к уменьшению окислительного эффекта угольного остатка, что проявляется в снижении скорости потери массы образца с 30,45 %/мин для нативной древесины до 3,92 %/мин. Содержание в угольном слое элементов фосфора обеспечивает снижение его окислительной способности, поскольку данный элемент является эффективным депрессантом тлеющего (беспламенного) горения [8, 9]. Максимальная температура окисления угольного слоя в данном случае повышается с 415 °С до 516 °С (табл. 2). Снижение пожарной опасности древесины несомненно достигается участием антипиренов в процессе формирования угольного слоя. Известно, что выход карбонизованного остатка при конечной температуре нагрева 500 °С у нативной древесины, древесины модифицированной ортофосфорной и пирофосфорной кислотами равен соответственно: 18 мас.%, 46 мас.% и 54 мас.% [7, 10].

В случае применения антипирена с повышенным содержанием полифосфата аммония (обр. № 3, табл. 1) на кривых ТГ и ДТГ наблюдаются изменения, связанные с протеканием процесса дегидратации при более высоких температурах от 200 до 220 °С по сравнению с антипиреном, содержащим соли аммония фосфорной кислоты (температура начала процесса межмолекулярной дегидратации составляет 180 °С). При этом наблюдается смещение участка максимальной скорости разложения до температуры 312 °С, а значение амплитуды снижается до значения 8,21 %/мин (табл. 2, обр. № 3). Характерное пиковое значение скорости разложения образца при температуре 222 °С свидетельствует о термическом разложении термопластичного полимера, имеющего температуру разложения 220 °С, без видимого протекания процесса межмолекулярной дегидратации, поскольку использование полифосфата аммония предполагает появление орто- и пирофосфатных фрагментов при более высоких температурах от 280–300 °С [11]. По сути, в данном случае имеет место десинхронизация действия различных компонентов на основном температурном участке от 200 до 300 °С. Интересно отметить, что при стандартной оценке огнезащитной эффективности данного антипирена был получен результат с потерей массы образца 36 %

(состав не обладает огнезащитным эффектом). Тем не менее наличие в составе антипирена фосфорсодержащих соединений позволяет снизить интенсивность окислительных реакций угольного слоя (температура, соответствующая максимальной скорости окисления, составляет 562 °С при скорости потери массы до 6,53 %/мин), что также может свидетельствовать о снижении интенсификации процесса тлеющего (беспламенного) горения.

Высокая согласованность взаимодействия компонентов при достижении огнезащитного эффекта установлена в отношении комплексного антипирена, содержащего полифосфат аммония, газообразователи, комплекс многоатомных спиртов и ароматические полифункциональные компоненты (обр. № 4, табл. 1). Используемый комплекс многоатомных спиртов, способных при воздействии температуры к естественной дегидратации, способствует снижению активности процесса термодеструкции образца на достаточно обширном температурном участке от 200 до 240–280 °С, далее идет высвобождение кислотного катализатора с усилением процесса межмолекулярной дегидратации. Именно в этот температурный период происходит интенсивное коксообразование огнезащитной системы. Вместе с этим также протекает процесс дегидратации в отношении углеводного комплекса древесины с максимальной температурой разложения на основном участке 313 °С (амплитуда 15 %/мин). Использование комплексного антипирена, включающего полифосфат аммония, многоатомные спирты, газообразователи и ароматический сшивающий компонент, позволяет повысить максимальную температуру окисления угольного остатка до 591 °С со скоростью окисления 3,96 %/мин. Применение подобных антипиренов может позиционироваться для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных конструкций.

При изучении процесса разложения древесины в присутствии антипирена, имеющего в своем составе смесь солей аммония фосфорной кислоты и соединений, являющихся источниками углерода (низкомолекулярные углеводы и многоатомные спирты), было обнаружено, что величина потери массы (измеренная на кривой ТГ) и скорость потери массы (измеренная на кривой ДТГ) зависят от температуры сложным образом, что можно оценить по количеству явно выраженных экстремальных участков температуры (табл. 2, обр. № 5). При совместном разложении древесины с коксообразующим антипиреном наблюдается появление на кривых ДТГ пиковых амплитудных значений при температурах 236, 286 и 344 °С. Общие потери массы на основном участке достигают 47,94 %. При 236 °С происходит дегидратация и коксование низкомолекулярных углеводов в присутствии кислот фосфора, образующихся в результате термических превращений солей аммония фосфорной кислоты. В последующем в температурном диапазоне от 236 до 344 °С часть высвободившейся при 180 °С фосфорной кислоты расходуется на процессы дегидратации многоатомных спиртов, олиго- и высокомолекулярных компонентов углеводного комплекса древесины.

Несомненный интерес может представлять двухстадийный реакционно-окислительный процесс на кривых ДТГ, который имеет максимальные пиковые значения при температурах 499 и 738 °С (табл. 2, обр. № 5). По всей видимости, этот процесс вызван наложением процессов окисления угольного остатка непосредственно древесины и кокса, который сформирован с участием различных углеродсодержащих соединений на различных температурных стадиях под влиянием кислотного фосфорсодержащего катализатора. По результатам проведения стандартных огневых испытаний (табл. 2) можно сделать вывод о том, что установленный эффект коксообразования на защищаемой поверхности древесины является недостаточным для получения высокого огнезащитного эффекта. Потеря массы образцом при испытаниях составляет 18,8 %, что свидетельствует об интенсивном обугливание древесины даже в условиях процесса коксообразования компонентов антипирена. Несмотря на это, реакционно-окислительная активность древесного угля в присутствии антипирена на экстремальном участке кривой ДТГ снижается в 12 раз (до 2,5 %/мин) по сравнению с угольным остатком нативной древесины (30,5 %/мин). В данном случае,

по мнению авторов, проявление эффекта огнезащиты подобных антипиренов в полной мере должно проявиться при более продолжительном огневом воздействии.

Для повышения устойчивости угольного субстрата к окислению в состав коксообразующих антипиренов были введены соединения бора, которые при высокотемпературном воздействии образуют термостойкие стеклообразные пленки. В данном случае положительный эффект в снижении окислительной способности древесного угля установлен в отношении коксообразующего антипирена (обр. № 6, табл. 1). Эффект действия соединений бора связан со снижением доступа окислителя к поверхности древесного угольного слоя при высоких температурах (табл. 2, обр. № 6). На первом этапе при нагревании до 185 °С происходит удаление влаги из древесины и влагосодержащих компонентов антипирена, включая борные соединения, которые теряют воду при температурах более 70 °С. В результате этого процесса происходит потеря массы в размере 7,47 %. В диапазоне температур 150 °С и 200 °С наблюдается эндотермический эффект, который связан с распадом борных соединений, таких как борная кислота, на метаборную кислоту при 150 °С и тетраборную кислоту при 160 °С. Это благоприятно сказывается на процессе дегидратации углеводных компонентов. После этого антипирен выступает в роли типичного замедлителя горения, катализируя процесс дегидратации. При 180 °С происходит высвобождение кислотного катализатора, что интенсифицирует процессы дегидратации. Несколько пиковых значений процесса термоокислительного разложения связаны с избирательным взаимодействием ортофосфорной кислоты, высвобождаемой при этой температуре, с многоатомными спиртами и компонентами лигноуглеводного комплекса в диапазоне температур от 200 до 400 °С.

Уменьшение способности угольного слоя к окислению происходит вследствие образования защитной стеклообразной пленки оксида бора (в процессе термических превращений при высоких температурах образуется борный ангидрид B_2O_3 , который плавится при 577 °С), а также наличия в угольном субстрате элементов антипирена – фосфора. Фактически происходит смещение процесса окисления угольного остатка в сторону более высоких температур на 100 °С по сравнению с нативной древесиной. Кроме этого, следует отметить, что соединения бора способствуют повышению механической прочности образовавшегося угольного (коксообразного) слоя [12].

Основные выводы

По результатам исследования методами прямого огневого воздействия на образцы древесины с огнезащитными пропиточными составами и методами термического анализа показано значительное влияние компонентного химического состава и механизма огнезащитного действия на рассматриваемые характеристики эффективности огнезащиты. По результатам стандартных огневых испытаний установлено, что при расходе поверхностного нанесения огнезащитных составов от 350 до 550 кг/м² обеспечивается I или II группа огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292–2009 (потеря массы от 8,67 до 25 %). Также в отношении огнезащитного состава, имеющего в рецептуре компоненты, механизм огнезащиты которых реализуется в условиях десинхронизации, получен результат с потерей массы 36 % (не обладающий огнезащитной эффективностью). По сути, действие всех предложенных огнезащитных пропиточных составов направлено на снижение горючести, что находит отражение в результатах потери массы образцом при кратковременном огневом испытании. Однако при более продолжительном огневом воздействии на образцы древесины или деревянных конструкций с огнезащитой наблюдаются значительные расхождения в способности антипиренов оказывать влияние на характер процесса обугливания, снижение интенсивности беспламенного (глюющего) горения, а также величины тепловыделения в условиях термоокислительного разложения исследуемых образцов. Ранее полученные результаты [4] в отношении древесины в присутствии антипиренов позволили определить

диапазон значений скоростей обугливания от 0,55 до 0,95 мм/мин, что фактически предопределяет актуальность настоящих и последующих исследований.

Анализ результатов термогравиметрического исследования показывает, что на характер термических превращений древесины оказывает значительное влияние химический компонентный состав замедлителей горения и механизм их огнезащитного действия. Использование для огнезащиты древесины фосфорных кислот предопределяет протекание классического механизма межмолекулярной дегидратации со смещением основной стадии термоокислительного разложения древесины до температуры 300 °С и выше. В случае применения ортофосфорной кислоты известным является снижение температурного порога основной деструктивной стадии древесины до температуры 215 °С. Применение комплексных антипиренов, содержащих различные кислотодонорные и другие функциональные компоненты, приводит к сложным физико-химическим превращениям древесины в присутствии, например, многоатомных спиртов и полигидратных соединений, дегидратирующих при повышении температуры [12]. Данные процессы приводят к снижению термической активности древесного комплекса с заметным снижением скорости потери массы (в три и более раза) на различных температурных участках, а также потере окислительной способности образующегося угольного остатка.

Список литературы

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Повышение огнестойкости деревянных конструкций путем применения огнебиозащитных пропиточных составов / О.В. Арцыбашева [и др.] // Полимерные материалы пониженной горючести: материалы VIII Междунар. конф. Алматы: Казахский нац. ун-т им. Аль-Фараби, 2017. С. 248–251.
3. Нигматуллина Д.М. Снижение пожарной опасности деревянных конструкций способом их глубокой пропитки огнебиозащитными составами: дис. ... канд. техн. наук. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2017. 201 с.
4. Fedotov I.O., Khasanova G.Sh., Sivenkov A.B. The efficiency of various fire protectants for wooden structures // Eurasian chemico-technological journal. 2022. № 1 (24). С. 33–41.
5. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. URL: docs.cntd.ru/document/1200071912 (дата обращения: 09.06.2023).
6. Модифицирование древесины фосфиновыми кислотами и их эфирами / Е.Н. Покровская [и др.] // Химия древесины. 1987. № 6. С. 79–82.
7. Сивенков А.Б. Снижение пожарной опасности материалов на основе целлюлозы: дис. ... канд. техн. наук. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2002. 197 с.
8. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. М.: Наука, 1981. 280 с.
9. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов. М.: Знание, 1981. 64 с.
10. Берлин А.А., Сивенков А.Б., Хасанова Г.Ш. Химические основы снижения пожарной опасности материалов на основе целлюлозы // Горение и плазмохимия. 2021. Т. 19. № 2. С. 65–77.
11. Ненахов С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония // Пожаровзрывобезопасность. 2010. № 8. С. 11–58.
12. Fire hazard and fire resistance of wooden structures / A.B. Sivenkov [et al.] // Springer nature switzerland AG. 2023. XVI. 269 p.

References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon Ros. Federacii ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
2. Povyshenie ognestojkosti derevyannyh konstrukcij putem primeneniya ognebiozashchitnyh propitochnyh sostavov / O.V. Arcybasheva [i dr.] // Polimernye materialy ponizhennoj goryuchesti: materialy VIII Mezhdunar. konf. Almaty: Kazahskij nac. un-t im. Al'-Farabi, 2017. S. 248–251.
3. Nigmatullina D.M. Snizhenie pozharnoj opasnosti derevyannyh konstrukcij sposobom ih glubokoj propitki ognebiozashchitnymi sostavami: dis. ... kand. tekhn. nauk. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2017. 201 s.
4. Fedotov I.O., Khasanova G.Sh., Sivenkov A.B. The efficiency of various fire protectants for wooden structures // Eurasian chemico-technological journal. 2022. № 1 (24). P. 33–41.
5. GOST R 53293–2009. Pozharnaya opasnost' veshchestv i materialov. Materialy, veshchestva i sredstva ognezashchity. Identifikaciya metodami termicheskogo analiza. URL: docs.cntd.ru/document/1200071912 (data obrashcheniya: 09.06.2023).
6. Modificirovanie drevesiny fosfinovymi kislotami i ih efirami / E.N. Pokrovskaya [i dr.] // Himiya drevesiny. 1987. № 6. S. 79–82.
7. Sivenkov A.B. Snizhenie pozharnoj opasnosti materialov na osnove cellyulozy: dis. ... kand. tekhn. nauk. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2002. 197 s.
8. Aseeva P.M., Zaikov G.E. Gorenje polimernyh materialov. M.: Nauka, 1981. 280 s.
9. Aseeva P.M., Zaikov G.E. Snizhenie goryuchesti polimernyh materialov. M.: Znanie, 1981. 64 s.
10. Berlin A.A., Sivenkov A.B., Hasanova G.Sh. Himicheskie osnovy snizheniya pozharnoj opasnosti materialov na osnove cellyulozy // Gorenje i plazmohimiya. 2021. T. 19. № 2. S. 65–77.
11. Nenahov S.A., Pimenova V.P. Fiziko-himiya vspenivayushchihsiya ognezashchitnyh pokrytij na osnove polifosfata ammoniya // Pozharovzryvobezopasnost'. 2010. № 8. S. 11–58.
12. Fire hazard and fire resistance of wooden structures / A.B. Sivenkov [et al.] // Springer nature switzerland AG. 2023. XVI. 269 p.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 22.05.2023; одобрена после рецензирования: 22.08.2023;
принята к публикации: 05.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 22.05.2023; approved after review: 22.08.2023;
accepted for publication: 05.09.2023

Информация об авторах:

Федотов Илья Олегович, адъюнкт Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: ilafedotov367@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5076-3167>, SPIN-код: 9462-7756

Сивенков Андрей Борисович, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве в составе учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), доктор технических наук, профессор, e-mail: sivenkov01@mail.ru, ResearcherID: R-5518-2017, <https://orcid.org/0000-0003-3821-8606>, РИНЦ Author ID: 434522, SPIN-код: 1404-6956

Нагановский Юрий Кузьмич, ведущий научный сотрудник Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, 12 мкр.), кандидат технических наук, e-mail: reut11731@mail.ru, Scopus Author ID: 6506689489, ResearcherID: 166916, <https://orcid.org/0000-0001-9739-9123>, РИНЦ Author ID: 43977865, SPIN-код: 9408-0656

Information about the authors:

Fedotov Ilya O., adjunct of Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin str., 4), e-mail: ilafedotov367@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5076-3167>, SPIN: 9462-7756

Sivenkov Andrey B., professor of the department of fire safety in construction as part of the educational and scientific complex of fire safety of objects of protection of Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin str., 4), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sivenkov01@mail.ru, ResearcherID: R-5518-2017, <https://orcid.org/0000-0003-3821-8606>, RSCI Author ID: 434522, SPIN: 1404-6956

Naganovsky Yuri K., leading researcher of Russian order «Badge of Honor» research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, 12 mkr.), candidate of technical sciences, e-mail: reut11731@mail.ru, Scopus Author ID: 6506689489, ResearcherID: 166916, <https://orcid.org/0000-0001-9739-9123>, RSCI Author ID: 43977865, SPIN: 9408-0656

Научная статья

УДК 678.019; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-79-88

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Андрюшкин Александр Юрьевич.

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

Буцикин Евгений Борисович.

Академия машиностроения им. Ж.Я. Котина, Санкт-Петербург, Россия.

Кадочникова Елена Николаевна.

Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии

А.В. Хрулева, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Утечки жидких и газообразных углеводородов из трубопроводов и оборудования объектов транспортировки, хранения и переработки приводят к пожарам и взрывам. Часто причиной утечек углеводородов является коррозия металлических конструкций, приводящих к их разгерметизации. Для повышения долговечности металлических конструкций их защищают антикоррозионными покрытиями. Защитная способность антикоррозионного покрытия определяется его сплошностью (дефектностью). Прогнозирование сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия проводят с помощью эмпирических экспоненциальных или степенных выражений. Недостатком этих выражений является большое число трудноопределимых факторов и эмпирических коэффициентов. Приведено эмпирическое выражение для оценки дефектности антикоррозионного покрытия в текущий момент времени. Предложено эмпирическое выражение для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия, учитывающее производственную (начальную) дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды. Показано, что агрессивность окружающей среды существенно влияет на сплошность (дефектность) антикоррозионного покрытия. Проведено сравнение результатов прогнозирования сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия по применяемым в настоящее время выражениям и по предложенному выражению. Полученные результаты прогнозирования сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия близки. Предложенное для прогнозирования сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия эмпирическое выражение перспективно для практического применения.

Ключевые слова: покрытие, углеводороды, дефектность, сплошность, прогнозирование

Для цитирования: Андрюшкин А.Ю., Буцикин Е.Б., Кадочникова Е.Н. Прогнозирование срока службы антикоррозионных покрытий металлических конструкций объектов переработки, хранения и транспортировки углеводородов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 79–88. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-79-88.

Scientific article

FORECASTING THE SERVICE LIFE OF ANTICORROSIVE COATINGS OF METAL STRUCTURES OF OBJECTS OF PROCESSING, STORAGE AND TRANSPORTATION OF HYDROCARBONS

Andryushkin Aleksander Yu.**Baltic state technical university «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia.****Butsikin Evgeny B.****Zh.Ya. Kotin academy of mechanical engineering, Saint-Petersburg, Russia.****Kadochnikova Elena N.****Military educational institution of logistics named after general of the army****A.V. Khrulyov, Saint-Petersburg, Russia**

Abstract. Leaks of liquid and gaseous hydrocarbons from pipelines and equipment of transportation, storage and processing facilities lead to fires and explosions. Often the cause of hydrocarbon leaks is corrosion of metal structures, leading to their depressurization. To increase the durability of metal structures, they are protected with anticorrosive coatings. The protective ability of the anticorrosive coating is determined by its continuity (defect). The prediction of the continuity (defectiveness) of the anticorrosive coating is carried out using empirical exponential or power expressions. The disadvantage of these expressions is a large number of hard-to-determine factors and empirical coefficients. An empirical expression is given to assess the defectiveness of the anticorrosive coating at the current time. An empirical expression is proposed for predicting the operational continuity (defectiveness) of an anticorrosive coating, taking into account the production (initial) defectiveness, the permissible service life and the aggressiveness of the environment. It is shown that the aggressiveness of the environment significantly affects the continuity (defectiveness) anticorrosive coating. The results of forecasting the continuity (defectiveness) of the anticorrosive coating are compared according to the currently used expressions and according to the proposed expression. The obtained results of forecasting the continuity (defectiveness) of the anticorrosive coating are close. The empirical expression proposed for predicting the continuity (defectiveness) of the anticorrosive coating is promising for practical application.

Keywords: coating, hydrocarbons, defectiveness, continuity, forecasting

For citation: Andryushkin A.Yu., Butsikin E.B., Kadochnikova E.N. Forecasting the service life of anticorrosive coatings of metal structures of objects of processing, storage and transportation of hydrocarbons // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 79–88. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-79-88.

Введение

Жидкие и газообразные углеводороды относятся к взрыво- и пожароопасным веществам. Как показывает практика, риск возникновения аварийной ситуации при транспортировке, хранении и переработке углеводородов весьма высок, так как многие технологические операции проходят при повышенном давлении и температуре. Высокие значения параметров технологических процессов обуславливают разгерметизацию оборудования и трубопроводов, что приводит к утечкам углеводородов, сопровождаемых взрывами и пожарами.

Трубопроводы и оборудование для транспортировки, хранения и переработки углеводородов чаще всего изготавливаются из хорошо свариваемых низкоуглеродистых сталей. Недостатком низкоуглеродистых сталей является низкая коррозионная стойкость, обусловленная воздействием окружающей среды. Коррозия контактирующих с окружающей средой элементов трубопроводов и оборудования проходит весьма интенсивно,

и за достаточно короткое время наблюдается уменьшение прочности этих элементов. При снижении прочности элемента металлической конструкции до критического значения происходит его разрушение и разгерметизация трубопровода или оборудования [1–4].

Металлические конструкции от воздействия окружающей среды защищают антикоррозионными покрытиями (АКП). Нанесение АКП на металлические конструкции является основной мерой по снижению коррозии и повышению долговечности трубопроводов и оборудования. Однако АКП не обеспечивают полной защиты металлической конструкции от коррозии, так как при его формировании возникают различные допускаемые производственные дефекты (трещины, поры, отслоения). Во время эксплуатации металлической конструкции дефекты развиваются, то есть увеличиваются в размерах, наблюдается старение материала АКП. Все эти явления уменьшают сплошность АКП, что приводит к интенсификации коррозионных процессов металлической конструкции [5–9].

Таким образом, защитная способность АКП непосредственно связана с его сплошностью (дефектностью), на которую существенное влияние оказывает агрессивность окружающей среды. Поэтому актуально прогнозирование срока службы АКП по его сплошности (дефектности) с учетом производственной дефектности и агрессивности окружающей среды.

Целью исследования является разработка учитывающего производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды выражения для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия металлических конструкций.

Задачи исследования:

1. Проанализировать применяемые в настоящее время выражения для количественной оценки срока службы антикоррозионных покрытий металлической конструкции.
2. Предложить выражение для прогнозирования эксплуатационной дефектности антикоррозионного покрытия металлических конструкций с учетом производственной дефектности, допускаемого срока службы и агрессивности окружающей среды.
3. Провести сравнительный расчет эксплуатационной сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия по выражениям, применяемым в настоящее время, и по предложенному выражению.

Анализ выражений для количественной оценки срока службы антикоррозионных покрытий металлических конструкций

В реальных условиях эксплуатации АКП подвержено действию многих факторов, учесть которые в полном объеме практически невозможно. Поэтому при оценочных расчетах срока службы АКП используют экспоненциальные и степенные выражения, характеризующие изменение определенного показателя работоспособности АКП во времени [9–14]. В работе [13] приведен обзор эмпирических выражений, используемых для описания потери работоспособности АКП по характерным показателям: достижение сплошностью (дефектностью) АКП предельного значения; достижение напряжениями в АКП предельных значений; потеря адгезии между АКП и поверхностью металлической конструкции.

Эксплуатационная сплошность и дефектность АКП взаимосвязаны [14]:

$$\psi_{\text{экс}} + g_{\text{экс}} = 1, \quad (1)$$

где $\psi_{\text{экс}}$, $g_{\text{экс}}$ – эксплуатационная сплошность и дефектность.

Для обеспечения приемлемой долговечности металлической конструкции допускаемая эксплуатационная дефектность АКП обычно составляет $[g_{\text{экс}}]=25\text{--}30\%$, а допускаемая эксплуатационная сплошность соответственно $[\psi_{\text{экс}}]=70\text{--}75\%$, при достижении этого значения рекомендуется замена АКП.

Авторы статьи [13] выделяют три эмпирических степенных выражения, которые удовлетворительно описывают количественное изменение сплошности АКП во времени, с учетом различных условий эксплуатации:

$$\Psi_{\text{экс}}(t) = 1 - g_{\text{экс}}(t) = 1 - \alpha \cdot (1 + k \cdot \sigma^m) \cdot t, \quad (2)$$

$$\Psi_{\text{экс}}(t) = 1 - g_{\text{экс}}(t) = 1 - \frac{\alpha \cdot (1 + k \cdot \sigma^m) \cdot t^{b+1}}{b+1}, \quad (3)$$

$$\Psi_{\text{экс}}(t) = 1 - g_{\text{экс}}(t) = \frac{1}{1 + \alpha \cdot (1 + k \cdot \sigma^m) \cdot \frac{t^b}{b}}, \quad (4)$$

где α , k , m , b – эмпирические коэффициенты; σ – эквивалентное напряжение в АКП, МПа; $\Psi_{\text{экс}}(t)$ – эксплуатационная сплошность в момент времени t ; $g_{\text{экс}}(t)$ – эксплуатационная дефектность в момент времени t ; t – срок службы АКП, сутки.

Необходимо отметить, что в статье [13] для различных АКП определены эмпирические коэффициенты α , k , m , b для каждого из выражений (2–4).

Проведя анализ выражений (2–4), можно заметить, что при одинаковых эмпирических коэффициентах и эквивалентном напряжении в АКП выражение (1) соответствует окружающей среде с низкой агрессивностью, выражение (2) – со средней агрессивностью, а выражение (3) – с высокой агрессивностью.

К недостаткам выражений (2–4) относится необходимость определения эквивалентного напряжения в АКП, что весьма затруднительно, а также установление нескольких эмпирических коэффициентов.

В выражениях (2–4) отсутствует производственная дефектность АКП, то есть принято допущение, что в начале эксплуатации $g_{\text{экс}}(t=0)=0$ и $\Psi_{\text{экс}}(t=0)=1$. Также не введено значение допустимого срока службы или ресурса АКП и в явном виде не задан коэффициент, характеризующий агрессивность окружающей среды.

В статье [14] предложено эмпирическое выражение для определения эксплуатационной дефектности АКП в текущий момент времени с учетом опасности каждого вида дефекта:

$$g_{\text{экс}}(t) = 1 - \Psi_{\text{экс}}(t) = x_{\text{п}} \cdot \text{П} + x_{\text{ут}} \cdot \text{УТ} + x_{\text{н}} \cdot \text{Н} + x_{\text{т}} \cdot \text{Т} + x_{\text{р}} \cdot \text{Р} + x_{\text{ин}} \cdot \text{ИН}, \quad (5)$$

где x_i – коэффициент опасности определенного вида дефекта, зависящей от агрессивности окружающей среды ($x_i=0 \dots 1$); Т – доля трещин в дефектности; П – доля пор в дефектности; Р – доля расслоений в дефектности; Н – доля наплывов и локальных увеличений толщины покрытия в дефектности; УТ – доля локального уменьшения толщины покрытия в дефектности; ИН – доля инородных включений в дефектности; П+УТ+Н+Т+Р+ИН=1.

Определив эксплуатационную дефектность АКП в текущий момент времени по выражению (5), можно ее сравнить с прогнозируемым значением эксплуатационной дефектности по выражениям (2–4) и оценить правильность прогноза.

Таким образом, для практического применения желательно иметь одно выражение для прогнозирования срока службы АКП, учитывающее производственную дефектность и допустимый срок службы АКП, а также коэффициент, характеризующий агрессивность окружающей среды.

Прогнозирование эксплуатационной сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия металлических конструкций с учетом производственной дефектности, допускаемого срока службы и агрессивности окружающей среды

Во время эксплуатации дефектность АКП металлической конструкции постепенно увеличивается. Рост эксплуатационной дефектности АКП хорошо описывается предложенной зависимостью [15]:

$$g_{\text{экс}}(t) = 1 - \psi_{\text{экс}}(t) = (g_{\text{пр}})^{(1 - (t/[t])^{K_{\text{ар}}})} \leq [g_{\text{экс}}], \quad (6)$$

где $K_{\text{ар}}$ – константа, характеризующая агрессивность окружающей среды ($K_{\text{ар}} > 0$); t – время, сутки; $[t]$ – допускаемый срок службы АКП, сутки; $[g_{\text{экс}}]$ – допускаемая эксплуатационная дефектность АКП; $g_{\text{пр}}$ – производственная (начальная) дефектность АКП.

Проведен расчет эксплуатационной дефектности АКП по выражению (6) при следующих исходных данных:

- производственная дефектность $g_{\text{пр}} = 0,05$;
- допустимый срок службы АКП $[t] = 700$ сут;
- константа, характеризующая агрессивность среды $K_{\text{ар}} = 0,8$; $K_{\text{ар}} = 2,0$; $K_{\text{ар}} = 5,0$;
- время эксплуатации АКП $t = 0 \dots 500$ сут.

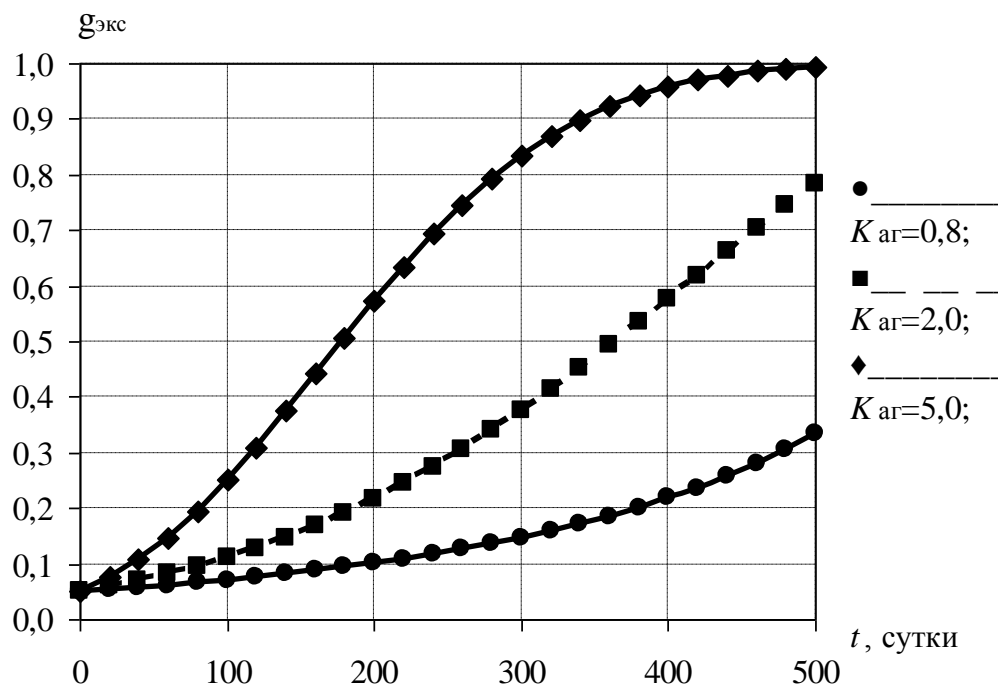


Рис. 1. Зависимость эксплуатационной дефектности $g_{\text{экс}}$ от времени t :
 $K_{\text{ар}}$ – константа, характеризующая агрессивность среды

Результаты расчета (рис. 1) показывают, что агрессивность окружающей среды оказывает существенное влияние на рост эксплуатационной дефектности. Чем выше значение константы $K_{\text{ар}}$, характеризующей агрессивность среды, тем интенсивнее растет эксплуатационная дефектность АКП.

Проведем сравнительный расчет эксплуатационной сплошности АКП по выражениям (2–4) и по предложенному выражению (6).

Исходные данные для расчета по выражениям (2–4):

– эмпирические коэффициенты: $\alpha=0,0001$; $k=0,01$; $m=4,0$; $b=0,18$ (для выражения (3); $b=2,0$ (для выражения (4));

– эквивалентная прочность АКП $\sigma=5$ МПа;

– время эксплуатации АКП $t=0 \dots 500$ сут.

Исходные данные для расчета по выражению (6):

– производственная дефектность $g_{пр}=0,01$;

– допустимый срок службы АКП $[t]=700$ сут;

– константа, характеризующая агрессивность среды $K_{ар}=1,5$; $K_{ар}=3,6$; $K_{ар}=14,0$;

– время эксплуатации АКП $t=0 \dots 500$ сут.

Также примем, что допускаемая сплошность АКП $[\psi_{экс}]=0,7$.

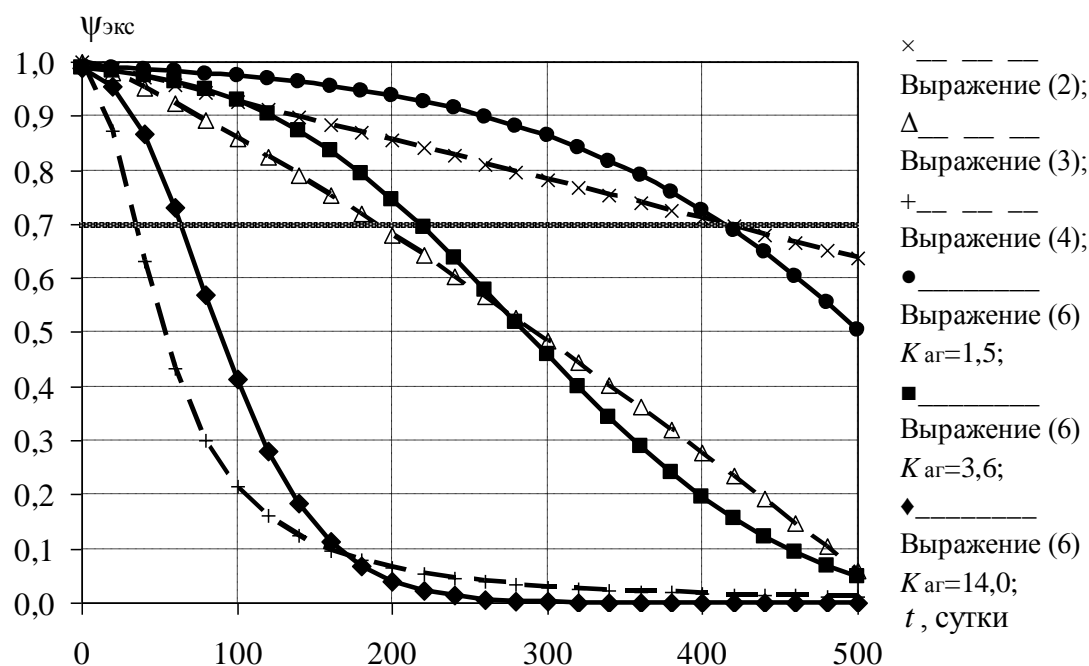


Рис. 2. Зависимость эксплуатационной сплошности $\psi_{экс}$ от времени t по выражениям (2–4) и (6): $K_{ар}$ – константа, характеризующая агрессивность среды

Результаты расчета показывают, что предложенное выражение (6) при соответствующем значении константы $K_{ар}$ хорошо описывает изменение сплошности АКП, вычисленное по выражениям (2–4) (рис. 2). При этом полученные значения сплошности АКП по выражениям (2–4) и выражению (6) весьма близки.

Допускаемая сплошность АКП $\psi_{экс}=[\psi_{экс}]=0,7$ при окружающей среде малой агрессивности достигается за 410 сут, средней агрессивности – 200 сут, высокой агрессивности – 50 сут.

Результаты расчета эксплуатационной сплошности АКП по выражению (6) близки к результатам расчета по выражениям (2–4), применяемым в настоящее время для прогнозирования эксплуатационной сплошности АКП.

Предложенное выражение (6) перспективно для практического применения при прогнозировании эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП металлических конструкций, так как учитывает производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды.

Результаты исследования и их обсуждение

Часто причиной аварий трубопроводов или оборудования, служащего для транспортировки, хранения и переработки углеводородов, является коррозия, снижающая прочность элементов металлических конструкций и приводящая к разгерметизации. Для защиты металлических конструкций применяют АКП, уменьшающие воздействие агрессивной окружающей среды на металл. Защитная способность АКП обусловлена их сплошностью (дефектностью).

Проведен анализ применяемых в настоящее время эмпирических выражений для количественной оценки срока службы АКП металлических конструкций. Рассмотрены эмпирические выражения для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП. Представлено эмпирическое выражение для оценки дефектности АКП в текущий момент времени.

Предложено эмпирическое выражение для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП металлических конструкций, учитывающее производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды. Это выражение перспективно для практического использования, так как заменяет несколько эмпирических выражений, используемых в настоящее время. Расчеты прогнозируемой сплошности (дефектности) АКП по используемым в настоящее время выражениям и по предложенному выражению дают близкие результаты.

Цель исследования можно считать достигнутой – предложено учитывающее производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды выражение для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП металлических конструкций.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Долговечность металлических конструкций объектов переработки, хранения и транспортировки углеводородов обусловлена сплошностью (дефектностью) применяемых АКП.

2. В настоящее время для прогнозирования сплошности (дефектности) АКП применяют большое число эмпирических экспоненциальных и степенных выражений, практическое применение которых затруднено из-за большого числа учитываемых в них факторов и эмпирических коэффициентов.

3. Предложено эмпирическое выражение для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП металлических конструкций, учитывающее производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды.

4. Результаты прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП по предложенному выражению и по применяемым в настоящее время выражениям близки.

Таким образом, предложенное для прогнозирования сплошности (дефектности) АКП выражение перспективно для практического применения.

Список источников

1. Оперативный контроль состояния антикоррозионной защиты как фактор безопасности технической эксплуатации морских судов / О.А. Белов [и др.] // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2020. № 1 (29). С. 152–159.

2. Павлова З.Х., Павлова А.Д., Азметов Х.А. Расчет на прочность и обеспечение безопасности эксплуатации трубопроводов с наружной коррозией // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. № 1 (129). С. 92–99.

3. Защита от коррозии магистрального трубопровода в области переходов «грунт-воздух» / О.Р. Латыпов [и др.] // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 4. С. 151–157.

4. Королев В.П. Требования качества, надежности и безопасности для управления коррозионной защищенностью металлоконструкций и сооружений // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4. № 3. С. 24–32.
5. Новоселова И.В., Патютко А.П. Обобщенная оценка свойств лакокрасочного покрытия // Лесотехнический журнал. 2013. № 3 (11). С. 99–103.
6. Scully J., Hensley S. Life time prediction for organic coating on steel and a magnesium alloy using electrochemical impedance methods // Corrosion. 1994. № 50. P. 705–716. DOI: 10.5006/1.3293547.
7. Service life prediction of organic coatings: electrochemical impedance spectroscopy vs actual service life / S. Shreepathi [et al.] // Journal of coatings technology and research. 2011. № 8 (2). P. 191–200. DOI: 10.1007/s11998-010-9299-5.
8. Кравцов В.В. Защита от коррозии внутренней поверхности стальных резервуаров: учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. 111 с.
9. Лапшин В.Ф., Буткин М.Г. Прогнозирование долговечности противокоррозионных покрытий // Железнодорожный транспорт. 2003. № 1. С. 48–49.
10. Суходоля А.В., Одиноква И.В., Птицын Д.А. Прогнозирование долговечности лакокрасочных покрытий при эксплуатации транспортных машин // Строительные и дорожные машины. 2015. № 3. С. 35–37.
11. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Разработка метода прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий // Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2021. № 2 (247). С. 175–186.
12. Макаренко О.А., Кравцов В.В., Ибрагимов И.Г. Количественная оценка срока службы лакокрасочных покрытий на внутренних поверхностях стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7. № 2. С. 112–114.
13. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Еллала Фаузи бен Абделаиз. Оценка долговечности защитных покрытий на металлических мостовых конструкциях // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. № 3. DOI: 10.15862/03TS317.
14. Оценка остаточной защитной способности лакокрасочных покрытий на внутренней поверхности стальных резервуаров / В.В. Кравцов [и др.] // Территория Нефтегаз. 2012. № 3. С. 36–39.
15. Андрюшкин А.Ю. Применение сверхзвукового газодинамического напыления при многоструйной подаче газа для снижения вероятности отказа многослойных функциональных покрытий: монография. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2021. 258 с.

References:

1. Operativnyj kontrol' sostoyaniya antikorrozionnoj zashchity kak faktor bezopasnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii morskikh sudov / O.A. Belov [i dr.] // Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy. 2020. № 1 (29). S. 152–159.
2. Pavlova Z.H., Pavlova A.D., Azmetov H.A. Raschet na prochnost' i obespechenie bezopasnosti ekspluatatsii truboprovodov s naruzhnoj korroziej // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov. 2021. № 1 (129). S. 92–99.
3. Zashchita ot korrozii magistral'nogo truboprovoda v oblasti perekhodov «grunt-vozduh» / O.R. Latypov [i dr.] // Neftegazovoe delo. 2016. Т. 14. № 4. S. 151–157.
4. Korolev V.P. Trebovaniya kachestva, nadezhnosti i bezopasnosti dlya upravleniya korrozionnoj zashchishchennost'yu metallokonstrukcij i sooruzhenij // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2018. Т. 4. № 3. S. 24–32.
5. Novoselova I.V., Patyut'ko A.P. Obobshchennaya ocenka svojstv lakokrasochnogo pokrytiya // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2013. № 3 (11). S. 99–103.
6. Scully J., Hensley S. Life time prediction for organic coating on steel and a magnesium alloy using electrochemical impedance methods // Corrosion. 1994. № 50. P. 705–716. DOI: 10.5006/1.3293547.

7. Service life prediction of organic coatings: electrochemical impedance spectroscopy vs actual service life / S. Shreepathi [et al.] // Journal of coatings technology and research. 2011. № 8 (2). P. 191–200. DOI: 10.1007/s11998-010-9299-5.
8. Kravcov V.V. Zashchita ot korrozii vnutrennej poverhnosti stal'nyh rezervuarov: ucheb. posobie. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2003. 111 s.
9. Lapshin V.F., Butkin M.G. Prognozirovanie dolgovechnosti protivokorroziionnyh pokrytij // Zheleznodorozhnyj transport. 2003. № 1. S. 48–49.
10. Suhodolya A.V., Odinkova I.V., Pticyn D.A. Prognozirovanie dolgovechnosti lakokrasochnykh pokrytij pri ekspluatatsii transportnykh mashin // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2015. № 3. S. 35–37.
11. Potapchik A.N., Egorova A.L. Razrabotka metoda prognozirovaniya dolgovechnosti antikorrozionnykh lakokrasochnykh pokrytij // Trudy BGTU. Ser. 2: Himicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geokologiya. 2021. № 2 (247). S. 175–186.
12. Makarenko O.A., Kravcov V.V., Ibragimov I.G. Kolichestvennaya ocenka sroka sluzhby lakokrasochnykh pokrytij na vnutrennih poverhnostyakh stal'nyh rezervuarov // Neftegazovoe delo. 2009. T. 7. № 2. S. 112–114.
13. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Ellala Fauzi ben Abdelaziz. Ocenka dolgovechnosti zashchitnykh pokrytij na metallicheskih mostovykh konstrukciyakh // Transportnye sooruzheniya. 2017. T. 4. № 3. DOI: 10.15862/03TS317.
14. Ocenka ostatochnoj zashchitnoj sposobnosti lakokrasochnykh pokrytij na vnutrennej poverhnosti stal'nyh rezervuarov / V.V. Kravcov [i dr.] // Territoriya Neftegaz. 2012. № 3. S. 36–39.
15. Andryushkin A.Yu. Primenenie sverzhzvukovogo gazodinamicheskogo napyleniya pri mnogostrujnoj podache gaza dlya snizheniya veroyatnosti otkaza mnogostojnykh funkcional'nykh pokrytij: monografiya. SPb.: BGTU «VOENMEKH», 2021. 258 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 30.05.2023; одобрена после рецензирования: 29.08.2023;
принята к публикации: 01.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 30.05.2023; approved after review: 29.08.2023;
accepted for publication: 01.09.2023

Сведения об авторах:

Андрюшкин Александр Юрьевич, заведующий кафедрой А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1), доцент, кандидат технических наук, e-mail: Sascha1a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>, SPIN-код: 7905-9345

Буцикин Евгений Борисович, заместитель декана по воспитательной и административно хозяйственной работе учебно-производственного факультета Академии машиностроения им. Ж.Я. Котина (192012, ул. Прогонная, д. 11, лит Б), e-mail: bucikin@academykotin.ru, <https://orcid.org/0000-003-3189-0627>, SPIN-код: 7027-2432

Кадочникова Елена Николаевна, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева (191123, Санкт-Петербург, Воскресенская набережная, д. 10 А), доцент, кандидат технических наук, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>, SPIN-код: 9778-4011

Information about the authors:

Andryushkin Alexander Yu., head of the A2 department «Technologies of structural materials and production of rocket and space technology» of the D.F. Ustinov baltic state technical university «VOENMEH» (190005, Saint-Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya str., 1), associate professor, candidate of technical sciences, e-mail: Sascha1a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>, SPIN: 7905-9345

Bucikin Evgeny B., deputy dean for educational and administrative work of the educational and production faculty of the Academy of mechanical engineering named after Zh.Ya. Kotin (192012, Progonnaya str., 11, lit. B), e-mail: bucikin@academykotin.ru, <https://orcid.org/0000-003-3189-0627>, SPIN: 7027-2432

Kadochnikova Elena N., senior researcher at the Research institute (military system research of logistics of the Armed Forces of the Russian Federation) of Military academy of logistics named after general of the army A.V. Khrulev (191123, Saint-Petersburg, Voskresenskaya Embankment, 10 A), associate professor, candidate of technical sciences, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>, SPIN: 9778-4011

Научная статья

УДК 54.061, 54.062, 54.064; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-89-95

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕРМИЧЕСКИ ИЗМЕНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

✉ **Ивахнюк Сергей Григорьевич.**

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

✉ sgi78@mail.ru

Аннотация. Наблюдаемая в последние годы тенденция к росту преступлений с применением инициаторов горения фокусирует внимание специалистов на вопросах, связанных с идентификацией двух и более образцов термически измененных нефтепродуктов. Решение этой задачи даст результаты не только при установлении обстоятельств криминальных преступлений, но и при выявлении виновников разливов жидких нефтяных углеводородов, а также пожаров разлития.

В статье представлены результаты исследования термически измененных проб различных марок светлых нефтепродуктов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа в части диагностирования примесей металлов, количественные содержания которых предложены в качестве критериев идентификации. Анализ полученных результатов обосновывает необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на решение задачи установления тождественности двух и более проб нефтепродуктов.

Ключевые слова: термически измененные нефтепродукты, идентификация нефтепродуктов, инициаторы горения, пожарно-техническая экспертиза, временная деградация, биологическая трансформация

Для цитирования: Ивахнюк С.Г. Исследование возможности идентификации термически измененных нефтепродуктов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 89–95. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-89-95.

Scientific article

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF IDENTIFYING THERMALLY MODIFIED PETROLEUM PRODUCTS BY ATOMIC EMISSION SPECTRAL ANALYSIS

✉ **Ivakhnyuk Sergey G.**

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

✉ sgi78@mail.ru

Abstract. The trend observed in recent years towards an increase in crimes involving the use of combustion accelerators focuses the attention of specialists on issues related to the identification of two or more samples of thermally modified petroleum products. The solution of this problem will give results not only in establishing the circumstances of criminal crimes, but also in identifying the perpetrators of spills of liquid petroleum hydrocarbons, as well as spill fires.

The article presents the results of a study of thermally altered samples of various brands of light petroleum products by atomic emission spectral analysis in terms of diagnosing metal impurities, the quantitative contents of which are proposed as identification criteria. The analysis of the obtained results substantiates the need for further research aimed at solving the problem of establishing the identity of two or more samples of petroleum products.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Keywords: thermally modified petroleum products, identification of petroleum products, combustion accelerators, fire-technical examination, temporary degradation, biological transformation

For citation: Ivakhnyuk S.G. Investigation of the possibility of identifying thermally modified petroleum products by atomic emission spectral analysis // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 89–95. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-89-95.

Введение

В последние годы на территории Российской Федерации отмечается тенденция к увеличению количества преступлений экстремистской и террористической направленности. К наиболее общественно значимым из них как по числу погибших и пострадавших, так и по тяжести последствий относят преступления, связанные с пожарами [1]. Именно они – причина гибели и увечья людей, их результаты, в случае ландшафтных проявлений, приводят к массовому уничтожению биоценозов, а также наносят значительный материальный ущерб. Вследствие полного или частичного уничтожения объекта преступного посягательства, а также нивелирования следовой картины на месте пожара подобные преступления имеют низкую раскрываемость.

В целях раскрытия и расследования преступлений, связанных с пожаром, эксперты и специалисты решают вопросы, связанные с установлением его очага и причины возникновения. При производстве судебной пожарно-технической экспертизы установление технической причины пожара является одной из основных ее задач. Среди причин возникновения пожара стоит акцентировать внимание на таком юридически квалифицируемом деянии, как поджог, которое в большинстве случаев сопряжено с применением инициаторов горения. В числе последних в первую очередь – горючие и легковоспламеняющиеся жидкости, а в случае так называемых «квалифицированных» поджогов – «нетрадиционные» инициаторы горения, такие как, например, пиротехнические составы и пр. [2].

Таким образом, важным условием установления причин пожаров является достоверное решение задач диагностирования и идентификации инициаторов горения, признаки применения и следовые количества которых обнаруживаются специалистами при осмотрах мест происшествий. Применительно для целей данной статьи под диагностированием понимается процедура определения видовой и типовой принадлежности нефтепродуктов, а под идентификацией – установления тождественности двух и более их образцов. Результаты идентификации позволят судить о происхождении проб нефтепродукта из единого источника. В части расследования обстоятельств поджога под двумя пробами подразумевается проба с места пожара и, например, проба, полученная со смывов с ладоней подозреваемого. От решения задач идентификации нефтепродуктов, примененных на месте преступления, во многом зависят итоги расследований обстоятельств поджогов, оперативность установления лиц, причастных к совершению преступления, и, в целом, вероятность их раскрытия.

Исследовательская часть

Из опыта экспертной практики следует, что при поджогах в качестве инициатора горения в 70–80 % случаев злоумышленниками используются светлые нефтепродукты – бензины, керосин, дизельные топлива [3]. Имеющаяся в настоящее время методическая база, направленная на установление причин пожаров, возникающих в результате умышленных поджогов с использованием нефтепродуктов в качестве инициатора горения, определяет возможности решения исключительно задач их диагностирования, при этом основное внимание сконцентрировано на выявлении содержания органических компонентов нефтепродуктов.

Здесь важно отметить, что трудности анализа объектов исследования подобных нефтепродуктам как в целях диагностирования, так и идентификации традиционно связаны с активно проходящими процессами их временной и биологической деградации [4]. К тому же при пожаре объекты-носители следов инициаторов горения подвергаются воздействию повышенных температур и других факторов, в связи с чем обнаружить на них достаточное для исследования количество органической составляющей нефтепродуктов является достаточно сложной задачей.

Таким образом, применяемые в настоящее время методики не реализуют в полной мере потенциал возможностей сравнительной идентификации и не обеспечивают получение содержательных и достоверных выводов, которые бы позволили утверждать о происхождении двух и более образцов измененных нефтепродуктов из единого источника [5].

В свою очередь, подтверждение наличия неких признаков, строго индивидуальных для конкретной партии нефтепродукта, позволило бы соотнести обнаруженный на месте происшествия образец инициатора горения с изъятыми при проведении иных оперативных и следственных действий пробами нефтепродуктов, например, из емкости, обнаруженной при досмотре возможно причастного к преступлению лица или при обыске в месте его проживания [6].

В связи с изложенным для решения задач сравнительной идентификации нефтепродуктов предлагается использовать способ, основанный на анализе соотношения количественного содержания примесей металлов, входящих в состав нефтепродуктов. Так как металлы и металлоорганические соединения, их содержащие, менее подвержены трансформациям при воздействии природных и антропогенных факторов, значения количественных содержаний металлов в различных образцах и их соотношений можно рассматривать в качестве критериев идентификации [7].

Известно, что анализ количественных соотношений тяжелых металлов, обнаруживаемых в нефти, позволяет однозначно ее идентифицировать с привязкой к тому или иному месторождению. Данный подход в настоящее время является достаточно апробированным и применяется на практике в различных областях, например, при контроле загрязнения морских вод и при поиске месторождений нефти [8]. Подобные исследования в настоящее время проводятся с применением метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС).

Здесь необходимо отметить, что возможность выявления примесей металлов в образцах нефтепродуктов современными аналитическими методами, такими как: атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС), ИСП-АЭС, рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) и пр. продемонстрирована в целом ряде публикаций [9–11].

В данной работе исследовалась возможность определения количественных содержаний металлов в термически измененных нефтепродуктах. Для ее подтверждения в качестве исследуемых объектов были выбраны четыре марки автомобильных бензинов (образцы №№ 1–4) и одна марка дизельного топлива (образец № 5). Для получения следов термически измененных нефтепродуктов, соответствующих изымаемым с мест пожаров, были подготовлены образцы, где на графито-силикагелевую подложку наносились отобранные пробы, которые впоследствии запекались в муфельной печи. Дальнейшее исследование образцов испаренных бензинов проводилось методом атомно-эмиссионного спектрального анализа (АЭСА).

Методы исследования

Исследование представленных образцов №№ 1–5 проведено с применением метода АЭСА и использованием рекомендаций, изложенных в работе [12].

Навески проб, приготовленные в пяти повторностях, массой 0,2–0,3 г, были получены путем пропитки с последующим высушиванием смеси графита с оксидом алюминия (квалификации «осч») и размещены в кратерах графитовых электродов для АЭСА. В качестве контрольных проб исследовали помещенную в электроды (для АЭСА) смесь графита с оксидом алюминия (10 мг, 1:1), приготовленную в пяти повторностях.

Условия анализа: спектрограф – PGS-2 (дисперсия 7,3 А/мм), трехлинзовая система освещения; ширина щели спектрографа – 20 мкм. Противоеlectроды графитовые марки ЕС-12 (квалификация «осч»), заточенные на конус; расстояние между электродами выставлялось по диафрагме промежуточного конденсора при ширине щели 3,2 мм. Регистрация и расшифровка спектров проводилась при помощи многоканального анализатора атомно-эмиссионных спектров МАЭС и программы «Атом-3,3».

Элементный анализ проб проводился при следующих условиях: источник возбуждения – непрерывная дуга переменного тока генератора «Шаровая молния» ШМ-250 при силе тока 5 А с частотой 50 Гц в течение 15 с, затем при силе тока 18 А с частотой 200 Гц в течение 45 с, полная экспозиция – 60 с, до полного выгорания проб (20 спектров по 2 накопления по 1,5 с). Щель диафрагмы промежуточного конденсора при измерении открыта полностью.

Результаты и обсуждение

Анализ показал, что в полученных спектрах линий химических элементов: Au, Ba, Co, Hf, Hg, K, La, Ni, Sb, U, V, Zr – не обнаружено в пределах чувствительности примененной методики.

В исследуемых пробах выявлены линии следующих элементов: Ag, B, Be, Ca, Cu, Ga, Mg, Na, Sn, при этом содержание элементов соответствует или не превышает их содержания в контрольных пробах.

В пробах образцов №№ 1–5 выявлены следующие элементы, содержание которых значимо превышает их содержание в контрольных пробах: Cr, Fe, Mn, Pb, Ti, Zn.

В качестве количественной характеристики содержания элементов для последующего сравнительного анализа (табл.) использовалось отношение величины интенсивности линии элемента к интенсивности участка сплошного спектра возле линии (интенсивность фона, аналитический сигнал – $(I - I_{\text{ф}}) / I_{\text{ф}}$).

Таблица

Содержание химических элементов (у.е.) в образцах №№ 1–5 и контрольных пробах (К)

Образец	Интенсивность линий элементов и длины волн аналитических линий (нм)					
	Cr 284,3249	Fe 271,9027	Mn 279,8269	Pb 283,3053	Ti 323,6578	Zn 213,8573
К	0,11±0,04	5±1	1,07±0,4	0,72±0,17	0,21 ±0,07	0,25±0,08 1
1	0,15±0,07	6±2	1,5±0,6	0,61 ±0,19	0,29±0,22	0,38±0,09
2	0,34±0,06	11±2	2,8±0,6	1,42±0,70	0,50±0,20	0,55±0,10
3	0,26±0,07	14±4	3,3±1,2	1,55±0,61	0,42±0,12	0,79±0,22
4	0,48±0,05	20±3	6,4±1,7	2,03±1,02	0,60±0,10	1,93±0,73
5	0,43±0,12	18±6	6,1 ±3,2	1,37±0,61	0,43±0,14	1,95±0,60

Сравнительный анализ показал, что образец № 1 отличается от образцов № 2–5 по содержанию хрома, железа, марганца, титана и цинка.

Содержание свинца в пробах образцов №№ 3, 4 превышает их содержание в контрольных пробах. В образцах № 1, 2, 5 соответствует контрольным в пределах доверительных интервалов.

В образцах № 1, 2 содержание свинца соответствует его содержанию в контрольных пробах в пределах доверительных интервалов с доверительной вероятностью 95 %.

Образец № 4 отличается от образцов № 2 и 3 по содержанию марганца, при этом соответствует содержанию марганца в образце № 5. Содержание марганца в образце № 5 имеет большую величину доверительного интервала, охватывающую область концентраций марганца образцов №№ 2, 3, 4.

С целью исключения источника химических элементов – оксида алюминия, дополнительно были приготовлены серии проб образцов с добавлением только спектрально чистого графита в трех повторностях. Electroды наполняли последующим высушиванием по 160 мкл каждого образца в четыре приема (по 40 мкл). Серия контрольных проб в трех повторностях была приготовлена с добавлением графита в количестве, соответствующем исследованным пробам – 20 мг.

Элементный анализ второй серии проб проводился при следующих условиях: источник возбуждения – непрерывная дуга переменного тока генератора «Шаровая молния» ШМ-250 при силе тока 5 А с частотой 50 Гц в течение 6 с, затем при силе тока 10 А с частотой 200 Гц в течение 6 с, далее при силе тока 18 А с частотой 200 Гц в течение 60 с; полная экспозиция – 72 с, до полного выгорания пробы (1 спектр; 48 накоплений по 1,5 с). Щель диафрагмы промежуточного конденсатора при измерении открыта полностью.

Полученные результаты имели очень низкую воспроизводимость и были непригодны для сравнительного анализа. Наличие оксида алюминия согласно [12] способствует увеличению абсорбции химических элементов в электродах. Таким образом, удаление его не привело к положительному результату.

Дополнительно изучалась возможность анализа нефтепродуктов в нативном виде с применением метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), который на сегодняшний день требует наличия дополнительного оборудования, не входящего в комплектацию спектрометра, имевшегося в распоряжении – специальной системы ввода проб с возможностью подачи газообразного кислорода.

Основной способ пробоподготовки для метода ИСП-МС – получение водных растворов проб. Для пробоподготовки органических веществ используется автоклавная минерализация концентрированными кислотами [13, 14]. Для работы с жидкими органическими легковоспламеняющимися пробами требуется разработка и оптимизация условий разложения легколетучих органических жидкостей ввиду высокой вероятности выхода из строя оборудования при неправильном подборе условий пробоподготовки.

Заключение

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы:

- подтверждена принципиальная возможность обнаружения соединений металлов в термически измененных светлых нефтепродуктах методом АЭСА;
- для всех исследованных нефтепродуктов установлено индивидуальное количественное содержание каждого из металлов, таким образом, последующий анализ отношений количественных содержаний данных металлов принципиально способен решить задачу сравнительной идентификации нефтепродуктов.

Для анализа нефтепродуктов в нативном виде с использованием метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой требуется разработка и оптимизация условий их разложения в виду высокой вероятности выхода из строя оборудования при неправильном подборе условий пробоподготовки.

Список источников

1. Каратуева Е.Н. Пиротерроризм как разновидность политического экстремизма // Вопросы национальных и федеративных отношений. 2020. Т. 10. № 9 (66). С. 2313–2321. DOI: 10.35775/PSI.2020.66.9.012.
2. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / под ред. Н.А. Андреева. 2-е изд., стереотип. СПб.: СПБИБП МВД России, 1997. 562 с.
3. Расследование пожаров: учеб. / М.А. Галишев [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2013. 192 с.
4. Химия окружающей среды / под ред. А.П. Цыганкова. М.: Химия, 1982. 682 с.
5. Ивахнюк С.Г., Порошин П.В. К вопросу идентификации нефтепродуктов при производстве пожарно-технических экспертиз // Дискуссионные вопросы теории и практики судебной экспертизы: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. М.: Рос. гос. ун-т правосудия, 2021. С. 259–262.
6. Ивахнюк С.Г., Порошин П.В. Научное обоснование процедур приборно-методического обеспечения идентификации нефтепродуктов // Судебная экспертиза: прошлое, настоящее и взгляд в будущее: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т МВД России, 2022.
7. Ивахнюк С.Г. Приборно-методическое обоснование процедуры идентификации консервативных компонентов жидких углеводородов и остатков их временной и биodeградации // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1 (24). С. 140–146.
8. Геохимический способ обнаружения залежей нефти на морском шельфе: пат. 2417387 С2 Рос. Федерация. № 2009122012/28 / В.С. Головинский; заявл. 10.06.2009; опубл. 27.04.2011.
9. Балак Г.М., Волгин С.Н., Приваленко А.Н. Новые методы атомно-абсорбционного определения содержания металлов в авиационном и автомобильном бензинах // Химия и технология топлив и масел. 2021. № 1 (623). С. 33–41. DOI: 10.32935/0023-1169-2021-623-1-33-41.
10. Коркина Д.А., Делятинчук Н.Н., Гринштейн И.Л. Прямое высокочувствительное определение элементов в бензине, керосине и растворах минеральных масел методом атомно-эмиссионной спектromетрии с индуктивно-связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85. № 7. С. 7–15.
11. Simultaneous determination of copper and iron in automotive gasoline by X-ray fluorescence after pre-concentration on cellulose paper / L. S. G. Teixeira [et al.] // Talanta. 2007. Vol. 72. № 3. P. 1073–1076. DOI: 10.1016/j.talanta.2006.12.042.
12. Кюрегян С.К. Атомный спектральный анализ нефтепродуктов. М.: Химия, 1985. 320 с.
13. Determination of trace elements in petroleum products by inductively coupled plasma techniques: A critical review / R. Sánchez [et al.] // Spectrochimica acta Part B: Atomic spectroscopy. 2013. Vol. 88. P. 104–126. DOI: 10.1016/j.sab.2013.06.005.
14. Пробоподготовка при определении металлов в нефти и нефтепродуктах методом МС-ИСП / А.В. Соин [и др.] // Журнал аналитической химии. 2010. Т. 65. № 6. С. 585–590.

References

1. Karatueva E.N. Piroterrorizm kak raznovidnost' politicheskogo ekstremizma // Voprosy nacional'nyh i federativnyh otnoshenij. 2020. T. 10. № 9 (66). S. 2313–2321. DOI: 10.35775/PSI.2020.66.9.012.
2. Cheshko I.D. Ekspertiza pozharov (ob"ekty, metody, metodiki issledovaniya) / pod red. N.A. Andreeva. 2-e izd., stereotip. SPb.: SPbIPB MVD Rossii, 1997. 562 s.
3. Rassledovanie pozharov: ucheb. / M.A. Galishev [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2013. 192 s.
4. Himiya okruzhayushchej sredy / pod red. A.P. Cygankova. M.: Himiya, 1982. 682 s.

5. Ivahnyuk S.G., Poroshin P.V. K voprosu identifikacii nefteproduktov pri proizvodstve pozharno-tehnicheskikh ekspertiz // *Diskussionnye voprosy teorii i praktiki sudebnoj ekspertizy: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: Ros. gos. un-t pravosudiya*, 2021. S. 259–262.

6. Ivahnyuk S.G., Poroshin P.V. Nauchnoe obosnovanie procedur priborno-metodicheskogo obespecheniya identifikacii nefteproduktov // *Sudebnaya ekspertiza: proshloe, nastoyashchee i vzglyad v budushchee: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t MVD Rossii*, 2022.

7. Ivahnyuk S.G. Priborno-metodicheskoe obosnovanie procedury identifikacii konservativnykh komponentov zhidkih uglevodorodov i ostatkov ih vremennoj i biodegradacii // *Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik*. 2022. № 1 (24). S. 140–146.

8. Geohimicheskij sposob obnaruzheniya zalezhej nefi na morskome shel'fe: pat. 2417387 C2 Ros. Federaciya. № 2009122012/28 / V.S. Golovinskij; zayavl. 10.06.2009; opubl. 27.04.2011.

9. Balak G.M., Volgin S.N., Privalenko A.N. Novye metody atomno-absorbcionnogo opredeleniya sodержaniya metallov v aviacionnom i avtomobil'nom benzine // *Himiya i tekhnologiya topliv i masel*. 2021. № 1 (623). S. 33–41. DOI: 10.32935/0023-1169-2021-623-1-33-41.

10. Korkina D.A., Delyatinchuk N.N., Grinshtejn I.L. Pryamoe vysokochuvstvitel'noe opredelenie elementov v benzine, kerosine i rastvorah mineral'nyh masel metodom atomno-emissionnoj spektrometrii s induktivno-svyazannoj plazmoj // *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2019. T. 85. № 7. S. 7–15.

11. Simultaneous determination of copper and iron in automotive gasoline by X-ray fluorescence after pre-concentration on cellulose paper / L. S. G. Teixeira [et al.] // *Talanta*. 2007. Vol. 72. № 3. P. 1073–1076. DOI: 10.1016/j.talanta.2006.12.042.

12. Kyuregyan S.K. Atomnyj spektral'nyj analiz nefteproduktov. M.: Himiya, 1985. 320 s.

13. Determination of trace elements in petroleum products by inductively coupled plasma techniques: A critical review / R. Sańchez [et al.] // *Spectrochimica acta Part B: Atomic spectroscopy*. 2013. Vol. 88. P. 104–126. DOI: 10.1016/j.sab.2013.06.005.

14. Probopodgotovka pri opredelenii metallov v nefi i nefteproduktah metodom MS-ISP / A.V. Sojn [i dr.] // *Zhurnal analiticheskoy himii*. 2010. T. 65. № 6. S. 585–590.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.06.2023; одобрена после рецензирования: 23.08.2023; принята к публикации: 07.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 05.06.2023; approved after review: 23.08.2023; accepted for publication: 07.09.2023

Информация об авторе:

Ивахнюк Сергей Григорьевич, заместитель начальника научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>, SPIN-код: 2144-4276

Information about the authors:

Ivakhnyuk Sergey G., deputy head of the Research institute of advanced research and innovative technologies in the field of life 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: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>, SPIN: 2144-4276

Научная статья

УДК 614.849; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-96-105

КРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

✉Тимошенко Артем Леонидович;

Самигуллин Гафур Халафович.

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

✉artem18181@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена решению проблемы обеспечения пожарной безопасности путем количественной оценки уровня пожарной опасности при эксплуатации технологического оборудования, в котором используется, транспортируется или хранится водородсодержащий газ. К таким технологическим участкам преимущественно относятся: склады для хранения емкостей с водородом, электролизные цеха, помещения, в которых размещены ресиверы для водорода, водородные компрессорные станции и т.п. В работе представлен перечень показателей пожарной опасности газообразного водорода, описаны способы определения данных показателей (параметров критериальной модели) для технологического участка, на основе разработанной программы для электронной вычислительной машины предложен метод отнесения технологического объекта к определенной категории уровня пожарной опасности. Данная модель применима только для закрытых технологических площадок, на которых размещены аппараты и (или) трубопроводы, в которых обращается водородсодержащий газ с чистотой не менее 99,9 %.

Ключевые слова: водородное оборудование, водородсодержащий газ, параметры критериальной модели, допустимые значения, технологический участок, категория уровня пожарной опасности

Для цитирования: Тимошенко А.Л., Самигуллин Г.Х. Критериальная модель оценки уровня пожарной опасности технологического оборудования водородной энергетики // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 96–105. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-96-105.

Scientific article

CRITERIA MODEL ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FIRE HAZARD LEVEL IN HYDROGEN POWER INDUSTRY

✉Timoshenko Artem L.;

Samigullin Gafur Kh.

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

✉artem18181@gmail.com

Abstract. The work is aimed at the solving the problem of fire safety by quantitative risk assessment during the operation of process equipment where hydrogen-containing gas is used, transported or stored. Such process areas mainly include hydrogen storage tanks, electrolysis plants, rooms containing hydrogen receivers, hydrogen compressor stations, etc. The list of hydrogen gas fire hazard indicators is presented in the work, the ways of definition of these indicators (parameters of criterial model) for a technological site are described, on the basis of the developed program

for electronic computing machine the method of reference of technological object to a certain risk category is offered. This model is applicable only for closed technological sites where apparatuses and (or) pipelines in which hydrogen-containing gas with purity not less than 99,9 % is circulating are placed.

Keywords: hydrogen equipment, hydrogen-containing gas, criteria model parameters, allowable values, process area, risk categories

For citation: Timoshenko A.L., Samigullin G.Kh. Criteria model assessment of technological equipment fire hazard level in hydrogen power industry // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 96–105. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-96-105.

Введение

В настоящее время водородсодержащий газ (ВСГ) широко используется в различных отраслях промышленности, причем с увеличением производственных нужд увеличивается объемы его производства [1]. По прогнозам компании по анализу данных и консалтингу GlobalData, глобальные мощности по производству «низкоуглеродного» водорода с большой вероятностью достигнут 14 млн т в год к 2030 г., что в 20 раз больше, чем на сегодняшний день (рис. 1) [2].

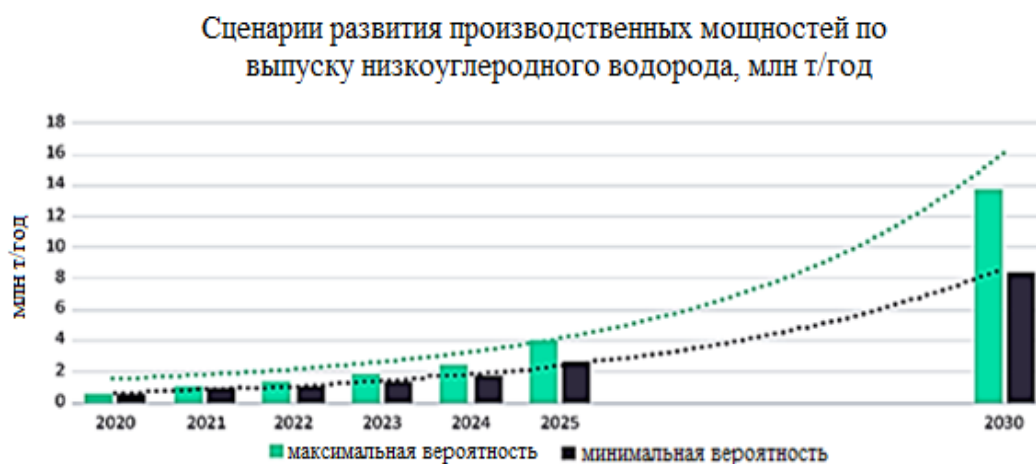


Рис. 1. Сценарии наращивания мощностей низкоуглеродного водорода, млн т

С развитием производственной водородной инфраструктуры наблюдается параллельное развитие автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП), в связи с чем происходит последовательное усложнение задач, стоящих перед системами управления от управления отдельными установками и параметрами, к автоматизации процессом в целом. Применение современных АСУ ТП дает возможность не только с высокой эффективностью реализовывать контроль и управление на производстве, но и отчасти избежать человеческих ошибок в оперативном управлении. К актуальным вопросам в данном случае относят вопросы развития интеллектуальных технологий АСУ ТП в направлении разработки алгоритмов реагирования на возникающие критические ситуации в динамическом режиме.

Актуальность исследования обусловлена тем, что применяемая на технологических производствах АСУ ТП не учитывает всех существующих показателей пожарной опасности обрабатываемых в технологических аппаратах веществ, в данном случае водородсодержащего газа, что не позволяет полноценно оценивать риски возникновения аварийных ситуаций.

Внедрение расчетной оценки уровня безопасности технологического оборудования, использующего водород, позволит обеспечить существенное снижение аварийности и прочих производственных рисков. Работа направлена на решение данной проблемы.

В странах с развитой водородной инфраструктурой данная проблема частично решена. Так, в работе [3] представлен обзор критериев опасности, которые могут быть использованы при количественной оценке пожарного уровня пожарной опасности водородных установок.

В исследовании [4] предлагается модель оценки рисков на основе индекса, оценивающая водородную инфраструктуру, используя относительный рейтинг рисков, таких как: производство, хранение и транспортировка водорода.

Разработан программный инструментальный HyRAM для оценки безопасности инфраструктуры заправки топливом и хранения водорода. Его также используют для количественной оценки пожарного риска с интегрированным анализом последствий аварии [5].

Целью работы является разработка и развитие комплексного подхода в обеспечении пожарной безопасности для объектов водородной энергетики, позволяющей оценивать состояние взрывопожароопасного технологического оборудования в целом, в том числе в динамике.

Поставленные задачи представлены в виде разработки критериальной модели, а также программы для ЭВМ, содержащих в своем составе: описание и построение параметров критериальной модели, а также разработку методики отнесения технологического участка, на которой размещено водородное оборудование, к определенной категории уровня пожарной опасности (риска).

Методы исследования

На сегодняшний день существует множество теоретических и экспериментальных методов определения показателей пожарной опасности газообразных веществ [6], однако некоторые из них невозможно применить для оценки пожарной опасности водородсодержащего газа из-за существенных отличий физико-химических и пожаровзрывоопасных свойств с углеводородными газами.

С точки зрения достижения целей: моделирования безопасности технологического процесса обращения водорода и создания системы обеспечения его безопасности в заданном технологическом процессе следует выделить два вида параметров – управляемые (внутренние (А) и управляющие (внешние (В)). Первые влияют на безопасность технологического процесса, улучшая или ухудшая ее, вторые воздействуют на состояние защищенности, в котором управляемые параметры находятся в зоне запрещенных значений. Таким образом, управляемые параметры зависят от управляющих. Следовательно, внутренние параметры в технологическом процессе можно рассматривать как набор показателей пожарной опасности. В соответствии с табл. 1 приложения к Федеральному закону от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» к перечню показателей, необходимых для оценки пожарной опасности газообразных веществ, относятся 19 показателей [7].

Любое состояние защищенности технологического процесса можно охарактеризовать следующим конечным множеством параметров: $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_i)$.

При $x_i \geq x_{ik}^{don}$ действующее значение параметра источника опасности превышает допустимое значение, что означает опасное воздействие этого источника опасности на защищаемый объект [8].

Естественно, что необходимым условием обеспечения пожарной безопасности объекта является выполнение следующего неравенства:

$$Q^{\delta} = x_i \leq x_i^{\delta on},$$

где x_i – действующее значение параметра источника опасности; $x_i^{\delta on}$ – допустимое значение параметра источника опасности.

Следовательно, необходимым условием при оценке уровня безопасности технологического оборудования, в котором обращается ВСГ, будет выглядеть следующим образом:

$$Q_i^{\delta} = \begin{cases} x_1 \leq x_1^{\delta on}; \\ x_2 \leq x_2^{\delta on}; \\ x_i \leq x_i^{\delta on}. \end{cases}$$

Состояние защищенности технологического процесса обращения ВСГ можно охарактеризовать следующим конечным множеством параметров:

$$X = \left\{ \begin{array}{l} A = \left(\delta_{\text{бэмз}}, \varphi_{\text{ПДГ}}, \Delta P, \varphi_{\text{ф}}, Q_{\text{н}}, S_{\text{н}}, u_0, \frac{dp}{dt}, q, t_{\text{сам}}, \varphi_{\text{н(в)}}, W_{\text{min}}, \varphi_{\text{O}_2}, \dots, x_{\text{n}} \right); \\ B = \left(T_{\text{апп}}, P_{\text{апп}}, V_{\text{апп}}, A, \tau_{\text{пост}}, T_0, \rho_{\text{в}}, P_0, d_{\text{кр}}, \dots, x_{\text{m}} \right) \end{array} \right\},$$

где W_{min} – минимальная энергия зажигания, Дж; $\varphi_{\text{в}}$ – верхний концентрационный предел распространения пламени по смеси горючего вещества с воздухом, % (об.); $\varphi_{\text{н}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени по смеси газообразного горючего вещества с воздухом, % (об.); $\varphi_{\text{ф}}$ – минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора, % (об.); ΔP – максимальное избыточное давление взрыва газа, кПа; dp/dt_{max} – максимальная скорость нарастания давления взрыва водородо-воздушной смеси, кПа/с; $S_{\text{н}}$ – нормальная скорость распространения пламени, м/с; φ_{O_2} (МВСК) – минимальное взрывоопасное содержание кислорода в горючей смеси, % (об.); $\varphi_{\text{ПДГ}}$ – концентрационный предел диффузионного горения газовых смесей в воздухе, % (об.); $t_{\text{сам}}$ – температура самовоспламенения, К; $d_{\text{кр}}$ – критический диаметр длинного цилиндрического огнегасящего канала, мм; $\delta_{\text{бэмз}}$ (БЭМЗ) – максимальный экспериментальный безопасный зазор, мм; u_0 – предельная скорость срыва диффузионного горения, м/с; Q – низшая теплота сгорания вещества, МДж/кг; q – удельная теплота сгорания вещества, МДж/кг; $T_{\text{апп}}$ – температура технологического аппарата, К; T_0 – температура вещества при нормальных условиях, 273 К; $P_{\text{апп}}$ – давление в аппарате, кПа; $V_{\text{апп}}$ – объем реакционного сосуда, м³; P_0 – атмосферное давление, 101,3 кПа; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха до взрыва при начальной температуре T_0 , кг·м⁻³; A – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией, с⁻¹; $\tau_{\text{пост}}$ – продолжительность поступления ВСГ в объем помещения, с (120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает 0,000001 в год и не обеспечено резервирование ее элементов; 300 с при ручном отключении трубопроводов).

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 представлены основные параметры, влияющие на безопасность технологического оборудования, в котором обращается ВСГ, их допустимые значения, методы расчета, а также исходные данные, задаваемые оператором АСУ ТП для оценки уровня пожарной опасности.

Таблица 1

Допустимые значения основных параметров, влияющих на безопасность технологического оборудования, в котором обращается ВСГ

Параметр	Параметры, задаваемые оператором	Допустимое (предельное) значение	Единицы измерения	Расчетная формула
φ_n	$T_{анп}$ (задается, в К), $\varphi_{н0}$ (4,0 % (об.), T_r (2318 К)	4,0 [9]	% (об.)	$\varphi_n = \varphi_{н0} \left(1 - \frac{T_{анп} - T_0}{T_c - T_0}\right)$ [14]
φ_v	$T_{анп}$ (задается, в К), φ_{v0} (75,0 % (об.), T_r (2318 К)	75,0 [9]	% (об.)	$\varphi_v = \varphi_{v0} \left(1 + \frac{T_{анп} - T_0}{T_c - T_0}\right)$ [14]
$\delta_{бэмз}$	$d_{кр}$ (м)	0,00029 [10]	м	$\delta_{бэмз} = \frac{d_{кр}}{3}$ [17]
ΔP	b (м), l (м), h (м), Q_n (кДж/кг), C_p (кДж/(кг·К)), ρ_v (кг/м ³), Z (1), T_v (К), P_0 (101,3 кПа), $P_{анп}$ (кПа), $P_{труб}$ (кПа), $V_{анп}$ (м ³), $\tau_{пост}$ (120 с – автоматическое отключение, 300 с – ручное отключение), $Q_{всг}$ (м ³ /с), A (0,0125 с ⁻¹), $r_{подв}$ (м), $L_{подв}$ (м), $r_{отвод}$ (м), $L_{отвод}$ (м)	16 [11]	кПа	$\Delta P = \frac{m \cdot H_m \cdot Z \cdot P_0}{V_{св} \cdot \rho_v \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n}$ [19]
φ_ϕ : 1) состав (85 % (масс.) CO ₂ и 15 % (масс.) хладон 114В2) 2) CO ₂ 3) N ₂	Выбирается один из флегматизаторов, использующихся в АУПТ	38,4 74,4 91,2 [12]	% (об.)	$\varphi_\phi = \left(\sum_{i=1}^n \frac{\chi_i}{\varphi_i}\right)$ [15]
S_u	$P_{анп}$ (кПа), $T_{анп}$ (К), S_{u0} (3,06 м/с), m (2,23), n (-0,12), P_0 (101,3 кПа), T_0 (273 К)	2,1 [13]	м/с	$S_u = S_{u0} \left(\frac{P_{анп}}{P_0}\right)^n \left(\frac{T_{анп}}{T_0}\right)^m$ [16]
dp/dt	$V_{анп}$ (м ³), S_u (м/с), $P_{анп}$ (кПа)	$\frac{dP}{dt}_{max(дон)}$ = 81,55 $\cdot \frac{P_{анп(дон)} \cdot S_{u(дон)}}{V_{анп}^{\frac{1}{3}}}$	кПа/с	$\frac{dP}{dt}_{max} = 81,55 \cdot \frac{P_n \cdot S_u}{V^{\frac{1}{3}}}$ [17]
$t_{сам}$	$T_{анп}$ (К)	783 [12]	К	$Q_{сам}^{\delta} = T_{анп} \leq t_{сам}$
W_{min}	a (0,5), q_r (Дж/м ³), l_k (м)	6800 [12]	Дж	$W_{min} = a q_c l_k^3$ [17]
φ_{O_2} : 1) CO ₂ 2) N ₂	φ_ϕ (соответствует концентрации выбранного флегматизатора, % (об.)	4,2 1,8 [12]	% (об.)	$\varphi_{O_2} = \frac{100 - \varphi_\phi}{4,844}$ [15]

Параметр	Параметры, задаваемые оператором	Допустимое (предельное) значение	Единицы измерения	Расчетная формула
u_0	$K (0,75);$ $\mu (2,016 \text{ кг/моль}); C_p$ $(20,80 \text{ кДж/(моль}\cdot\text{К)});$ $t_{\text{апп}} (\text{К}); P_0 (101,3 \text{ кПа});$ $P_{\text{апп}} (\text{кПа}), \gamma (1,410)$	600 [13]	м/с	$u_0 = K \sqrt{\frac{2C_p T_{\text{апп}}}{M} \cdot \left(1 - \frac{P_0}{P_0 + P_{\text{апп}}}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}}} [18]$

Примечание: T_{Γ} – температура горения смеси в воздухе, К; b, l, h – ширина, длина и высота помещения, м; C_p – теплоемкость воздуха, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $P_{\text{труб}}$ – давление в трубопроводе, кПа; Z – коэффициент участия ВСГ в горении; $q_{\text{всг}}$ – расход ВСГ, определяемый в соответствии с технологическим регламентом в зависимости от давления в трубопроводе, его диаметра, температуры газовой среды и т.д., $\text{м}^3\cdot\text{с}^{-1}$; $r_{\text{подв(отвод)}}$ – внутренний радиус трубопроводов, м; $L_{\text{подв(отвод)}}$ – длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м; S_{u0} – известное значение нормальной скорости при давлении P_0 и температуре T_0 , равное 3,06 м/с; n и m – соответственно барический и температурный показатели; q_{Γ} – удельное объемное количество тепла, необходимое для нагрева горючей смеси от t_0 до $t_{\text{сам}}$, Дж/м^3 ; a – коэффициент пропорциональности; l_k – критический зазор зажигания, мм; K – коэффициент расхода форсунки, равный 0,75; C_p – теплоемкость исследуемой газовой смеси, $20,80 \text{ кДж/(моль}\cdot\text{К)}$; γ – показатель адиабаты (коэффициент Пауссона, равный 1,410)

На базе высокоуровневого языка программирования Python был разработан программный код, позволяющий упростить определение параметров критериальной модели. В диалоговом окне вводятся исходные значения параметров, которые подставляются в расчетные формулы и сравниваются с допустимыми значениями параметров пожарной опасности. При превышении того или иного допустимого значения переменной присваивается 1, если допустимое значение не превышено переменной – присваивается 0. По результатам сравнения критериев отнесения технологического участка, на котором размещено водородное оборудование, к определенной категории уровня пожарной опасности (риска), технологическому участку присваивается категория уровня пожарной опасности (табл. 2).

Таблица 2

Критерии отнесения технологического участка, на котором размещено водородное оборудование, к определенной категории уровня пожарной опасности

Категория уровня пожарной опасности	Критерии
Высокий	Превышаются более семи допустимых значений основных параметров
Средний	Превышаются не более семи допустимых значений основных параметров
Умеренный	Превышаются не более пяти допустимых значений основных параметров
Низкий	Превышаются не более трех допустимых значений основных параметров

Фрагмент критериальной модели оценки уровня безопасности технологического оборудования, где применяется водород, в виде исходного кода разработанной программы для электронной вычислительной машины (ЭВМ) на базе языка программирования Python представлен на рис. 2.

The image shows a screenshot of a Python script named 'main.py' and its execution output in a terminal window. The script defines several functions for calculating fire risk parameters based on input variables like temperature, pressure, and volume. The terminal output shows the execution of these functions, resulting in numerical values for various parameters such as reaction volume, heat release rate, and energy release rate.

```

main.py
1 import math
2 - def conc_pred(t_app):
3   T0=273
4   f_n0=4
5   f_v0=75
6   T_g=2318
7   f_n=f_n0*(1-((t_app-T0)/(T_g-T0)))
8   f_v=f_v0*(1-((t_app-T0)/(T_g-T0)))
9   return (f_n,f_v)
10 - def max_zazor(S_u):
11   d_kr=2.15*0.001*math.pow(S_u,-0.93)
12   delta=d_kr/3
13   return delta
14 - def rate_f_lame(t_app,p_app):
15   S_u0=3.06
16   p0=101.3
17   n=-0.12
18   m=2.23
19   T0=273
20   S_u=S_u0*math.pow(p_app/p0,n)*math.pow(t_app/T0,m)
21   return S_u
22 - def max_rate_dp(p_app,dop,V_app):
23   S_u_dop=2.1
24   dp_dt_dop=81.55*p_app*dop*S_u_dop/math.pow(V_app,1/3)
25   return dp_dt_dop
26 - def max_rate_fakt(p_app,V_app,S_u):
27   dp_dt_fakt=81.55*p_app*S_u/math.pow(V_app,1/3)
28   return dp_dt_fakt
29 - def min_energy(q_g,delta):
30   a=0.5
31   W_min=a*2*q_g*math.pow(2*delta,3)
32   return W_min
33 - def pred_rate(t_app,p_app):
34   K=0.75
35   C_p=20.8
36   M=2.016
37   p0=101.3
38   y=1.41
39   stepen=1-1/y
40   u=K*((2*C p t app/M)*((1-(p0/p0 p app))**stepen))**1/2
  
```

Shell

```

Введите температуру аппарата[K]:300
Введите давление аппарата[kPa] :2000
Введите допустимое давление аппарата[kPa] :14000
Введите объем реакционного сосуда[м.куб.]:5
Введите удельное объемное количество тепла, необходимое для нагрева горячей смеси[Дж]:11090
Введите ширину помещения[м]:5
Введите длину помещения[м]:7
Введите высоту помещения[м]:3
Свободный объем помещения равен: 84.0
Введите расход ВСГ[м.куб.*г/с]:1
Введите продолжительность поступления ВСГ[с]:120
Введите давление в трубопроводе[kPa]:2000
Введите внутренний радиус подводщего трубопровода[м]:0.5
Введите внутренний радиус отводящего трубопровода[м]:0.5
Введите длину отводящего трубопровода[м]:1
Введите длину подводщего трубопровода[м]:1
Введите начальную температура воздуха[K]:300
Масса mт, кг, поступившего в помещение при расчетной аварии ВСГ : 19.852248041761477
Введите низшая теплота сгорания[kJ/kg]:114927
Введите плотность воздуха до взрыва при начальной температуре T0[kг-м-3]:1.165
Введите теплоемкость воздуха[kJ/kg-K]:1.005
Избыточное давление взрыва ΔP : 2611.1235743242178
Верхний и нижний ПР:(3.9471882640586795, 75.99022004889976),
Безопасный экспериментальный максимальный зазор:0.0002905501844758223,
Нормальная скорость распространения пламени:2.640028745090132,
Максимальная скорость нарастания давления взрыва:37771.468876013205,
Минимальная энергия зажигания:2.1761308194443386e-06,
Предельная скорость срыва диффузного горения: 12931.479337109176
4
Умеренная категория риска
>
  
```

Рис. 2. Фрагмент критериальной модели в виде программы для ЭВМ на базе Python

Заключение

Результаты исследования реализованы в виде программы для ЭВМ, которая прошла государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности [20]. В рамках проведенного исследования была достигнута цель работы путем решения следующих задач: представлены существующие модели оценки уровня пожарной опасности (риска) на объектах водородной энергетики; отмечена актуальность использования данных моделей в системах безопасности объектов водородной энергетики; разработана критериальная модель оценки уровня пожарной безопасности при эксплуатации технологического оборудования на объектах водородной энергетики, позволяющая оценивать состояние взрывопожароопасного технологического оборудования в целом, в том числе в динамике. К отличиям разработанной модели от других можно отнести простоту использования, а также оценку уровня пожарной опасности объекта с помощью метода расчета показателей, необходимых для определения пожарной опасности газообразных веществ, установленных Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ, и в дальнейшем – отнесения объекта к определенной категории уровня пожарной опасности. Рассматриваемая модель апробирована и внедрена на нескольких объектах водородной энергетики, в их числе: электролизный цех Каргалинской ТЭЦ и электролизный цех Балаковской ТЭЦ. По результатам апробации данным цехам присвоена средняя категория уровня пожарной опасности. В будущем планируется апробировать и внедрить данную модель на технологических участках предприятий топливно-энергетического комплекса Санкт-Петербурга в составе систем безопасности АСУ ТП, использующих водородные системы охлаждения турбогенераторов. Также актуальным применением критериальной модели будет являться ее внедрение в систему безопасности АСУ ТП установок паровой конверсии природного газа нефтеперерабатывающих, нефтехимических, химических и металлургических предприятий.

Список источников

1. Егоров А. Перепись водорода // Корпоративный журнал ПАО «Газпром». 2019. № 9. С. 42.

2. Global low carbon hydrogen production capacity to reach 14 mtpa in 2030, forecasts GlobalData. URL: <https://www.globaldata.com/media/oil-gas/global-low-carbon-hydrogen-production-capacity-reach-14-mtpa-2030-forecasts-globaldata/> (дата обращения: 16.05.2023).
3. LaChance J., Tchouvelev A., Engebo A. Development of uniform harm criteria for use in quantitative risk analysis of the hydrogen infrastructure // International journal of hydrogen energy. 2011. Т. 36. № 3. С. 2381–2388.
4. Kim J., Lee Y., Moon I. An index-based risk assessment model for hydrogen infrastructure // International journal of hydrogen energy. 2011. Т. 36. № 11. С. 6387–6398.
5. Groth K.M., Hecht E.S. HyRAM: A methodology and toolkit for quantitative risk assessment of hydrogen systems // International journal of hydrogen energy. 2017. Т. 42. № 11. С. 7485–7493.
6. Шебеко А.Ю. Особенности пожарной опасности горючих газовых смесей сложного состава. М.: ООО «Изд-во ТРИУМФ», 2018. 146 с. DOI: 10.32986/978-5-93673-204-1-2018-1-150.
7. Тимошенко А.Л., Самигуллин Г.Х., Алексеик Е.Б. Показатели, необходимые для оценки пожарной опасности водородсодержащего газа // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2023.
8. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / В.А. Трефилов [и др.]; под ред. В.А. Трефилова. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 304 с.
9. Гамбург Д.Ю., Семенов В.П., Дубовкин Н.Ф. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. М.: Химия, 1989. 672 с.
10. ГОСТ 12.1.011–78. Система стандартов безопасности труда. Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001049> (дата обращения: 16.05.2023).
11. Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 нояб. 2022 г. № 387. М., 2022. 85 с.
12. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ.: в 2-х т. Сер.: Учебные и справочные издания. М.: ООО «Издательство «Пожнаука», 2004. Т. 2. 774 с.
13. Гельфанд Б.Е., Попов О.Е., Чайванов Б.Б. Водород. Параметры горения и взрыва. М.: Физматлит, 2008. 288 с.
14. Теория горения и взрыва: практикум / Н.Н. Вершинин [и др.]. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2014. 64 с.
15. Минимальные флегматизирующие концентрации экологически безопасных огнетушащих составов для горючих газовоздушных смесей / А.П. Чугуев [и др.] // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2019. № 1 (10). С. 450–453.
16. ГОСТ Р 12.3.047–98. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003311> (дата обращения: 16.05.2023).
17. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ материалов: руководство (согласовано ГУГПС МЧС России, исх. № 30/4/1808 от 25 июня 2002 г., утв. ФГУ ВНИИПО МЧС России от 30 авг. 2002 г.). М.: ВНИИПО МЧС России, 2002. 77 с.
18. ГОСТ 12.1.044–2018. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (дата обращения: 16.05.2023).

19. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 16.05.2023).

20. Расчет пожарного риска технологического участка объекта водородной энергетики: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023663736 Рос. Федерация / А.Л. Тимошенко, Г.Х. Самигуллин, Д.В. Медведев; заявитель и правообладатель Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. № 2023661668; заявл. 06.06.2023; опублик. 27.06.2023, Бюл. № 7. 1 с.

References

1. Egorov A. Perepis' vodoroda // Korporativnyj zhurnal PAO «Gazprom». 2019. № 9. S. 42.
2. Global low carbon hydrogen production capacity to reach 14 mtpa in 2030, forecasts GlobalData. URL: <https://www.globaldata.com/media/oil-gas/global-low-carbon-hydrogen-production-capacity-reach-14-mtpa-2030-forecasts-globaldata/> (дата обращения: 16.05.2023).
3. LaChance J., Tchouvelev A., Engebo A. Development of uniform harm criteria for use in quantitative risk analysis of the hydrogen infrastructure // International journal of hydrogen energy. 2011. Т. 36. № 3. S. 2381–2388.
4. Kim J., Lee Y., Moon I. An index-based risk assessment model for hydrogen infrastructure // International journal of hydrogen energy. 2011. Т. 36. № 11. S. 6387–6398.
5. Groth K.M., Hecht E.S. HyRAM: A methodology and toolkit for quantitative risk assessment of hydrogen systems // International journal of hydrogen energy. 2017. Т. 42. № 11. P. 7485–7493.
6. Shebeko A.Yu. Osobennosti pozharnoj opasnosti goryuchih gazovyh smesej slozhnogo sostava. M.: ООО «Izd-vo TRIUMF», 2018. 146 s. DOI: 10.32986/978-5-93673-204-1-2018-1-150.
7. Timoshenko A.L., Samigullin G.H., Alekseik E.B. Pokazateli, neobhodimye dlya ocenki pozharnoj opasnosti vodorodsoderzhashchego gaza // Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: materialy Vseross. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2023.
8. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: ucheb. dlya stud. uchrezhdenij vyssh. prof. obrazovaniya / V.A. Trefilov [i dr.]; pod red. V.A. Trefilova. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2011. 304 s.
9. Gamburg D.Yu., Semenov V.P., Dubovkin N.F. Vodorod. Svoystva, poluchenie, hranenie, transportirovanie, primenenie. M.: Himiya, 1989. 672 s.
10. GOST 12.1.011–78. Sistema standartov bezopasnosti truda. Smesi vzryvoopasnye. Klassifikaciya i metody ispytaniy. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001049> (дата обращения: 16.05.2023).
11. Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah»: prikaz Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 3 noyab. 2022 g. № 387. M., 2022. 85 s.
12. Korol'chenko A.Ya., Korol'chenko D.A. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya: sprav.: v 2-h t. Ser.: Uchebnye i spravochnye izdaniya. M.: ООО «Izdatel'stvo «Pozhnauka», 2004. Т. 2. 774 s.
13. Gel'fand B.E., Popov O.E., Chajvanov B.B. Vodorod. Parametry goreniya i vzryva. M.: Fizmatlit, 2008. 288 s.
14. Teoriya goreniya i vzryva: praktikum / N.N. Vershinin [i dr.]. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2014. 64 s.
15. Minimal'nye flegmatiziruyushchie koncentracii ekologicheski bezopasnyh ognitushashchih sostavov dlya goryuchih gazovozdushnyh smesey / A.P. Chuguev [i dr.] // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. 2019. № 1 (10). S. 450–453.

16. GOST R 12.3.047–98. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003311> (data obrashcheniya: 16.05.2023).

17. Raschet osnovnykh pokazatelej pozharovzryvoopasnosti veshchestv materialov: rukovodstvo (soglasovano GUGPS MCHS Rossii, iskh. № 30/4/1808 ot 25 iyunya 2002 g., utv. FGU VNIPO MCHS Rossii ot 30 avg. 2002 g.). M.: VNIPO MCHS Rossii, 2002. 77 s.

18. GOST 12.1.044–2018. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredeleniya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (data obrashcheniya: 16.05.2023).

19. SP 12.13130.2009. Opredelenie kategorij pomeshchenij, zdaniy i naruzhnykh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (data obrashcheniya: 16.05.2023).

20. Raschet pozharnogo riska tekhnologicheskogo uchastka ob"ekta vodorodnoj energetiki: svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM 2023663736 Ros. Federaciya / A.L. Timoshenko, G.H. Samigullin, D.V. Medvedev; zayavitel' i pravoobladatel' Sankt-Peterburgskij universitet GPS MCHS Rossii. № 2023661668; zayavl. 06.06.2023; opubl. 27.06.2023, Byul. № 7. 1 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 31.05.2023; одобрена после рецензирования: 17.07.2023; принята к публикации: 28.08.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 31.05.2023; approved after review: 17.07.2023; accepted for publication: 28.08.2023

Информация об авторах:

Тимошенко Артем Леонидович, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: artem18181@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3927-5613>, SPIN-код: 6923-0111

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>, SPIN-код: 8830-4253

Information about the authors:

Timoshenko Artem L., postgraduate student of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: artem18181@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3927-5613>, SPIN: 6923-0111

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>, SPIN: 8830-4253

Научная статья

УДК 614.842.6; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-106-119

АНАЛИЗ СИСТЕМ ДОЗИРОВАНИЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

✉ Печурин Александр Алексеевич;

Преснов Алексей Иванович;

Маркова Нина Борисовна.

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

✉ pechurinas@mail.ru

Аннотация. Показано влияние точности дозирования пенообразователя на свойства получаемого раствора пенообразователя в зависимости от точности дозирования, параметров конструктивных и технологических характеристик систем подачи и дозирования пенообразователя. Рассмотрены технические решения дозирования пенообразователя в системах пожарных насосов передвижной пожарной техники. Проанализированы технические решения и эксплуатационные характеристики пеносмесителей в системах пожарных насосов пожарных автомобилей ГПС МЧС России. Сформированы основные требования к системам дозирования пенообразователя пожарных насосов, которые необходимо учитывать при разработке и производстве систем дозирования для насосных агрегатов пожарных автомобилей.

Ключевые слова: системы дозирования пенообразователя, насосные установки пожарных автомобилей, эксплуатационные характеристики систем дозирования, оборудование и контрольно-измерительные приборы систем дозирования

Для цитирования: Печурин А.А., Преснов А.И., Маркова Н.Б. Анализ систем дозирования пенообразователя в насосных агрегатах пожарных автомобилей: состояние, проблемы, технические решения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 106–119. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-106-119.

Scientific article

ANALYSIS OF FOAM DOSING SYSTEMS IN PUMP UNITS OF FIRE VEHICLES: STATUS, PROBLEMS, TECHNICAL SOLUTIONS

✉ Pechurin Alexander A.;

Presnov Alexey I.;

Markova Nina B.

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

✉ pechurinas@mail.ru

Abstract. The effect of the dosing accuracy of the foaming agent on the properties of the resulting foaming agent solution is shown, depending on the dosing accuracy, the parameters of the design and technological characteristics of the feeding systems and the dosage of the foaming agent. The technical solutions of foaming agent dosing in the systems of fire pumps of mobile fire equipment are considered. The technical solutions and operational characteristics of foam mixers in the systems of fire pumps of fire trucks of State fire service of EMERCOM of Russia are analyzed. The basic requirements for the dosing systems of the foam of fire pumps have been formed, which must be taken into account when developing and manufacturing dosing systems for pumping units of fire trucks.

Keywords: foaming agent dosing systems, pumping units of fire trucks, operational characteristics of dosing systems, equipment and instrumentation of dosing systems

For citation: Pechurin A.A., Presnov A.I., Markova N.B. Analysis of foam dosing systems in pump units of fire vehicles: status, problems, technical solutions // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 106–119. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-106-119.

Введение

Подача требуемой концентрации водного раствора пенообразователя насосными агрегатами пожарных автомобилей и в целом получение эффективного пенного тушения непосредственно зависит от работы встроенных в насосные агрегаты системы дозирования пенообразователя.

Одним из важнейших показателей дозирующего устройства является точность дозирования пенообразователя, что подчеркивается в ряде источников [1–5].

Важность дозирования пенообразователя обусловлена непосредственным влиянием дозирования на:

1. Свойства подаваемого насосом водного раствора, определяемого концентрацией пенообразователя в воде, и, как конечная цель, на свойства получаемой пены.

2. Эффективность работы комплекта оборудования пенного пожаротушения.

Недостаточная (низкая) концентрация раствора пенообразователя не обеспечивает получение пены с требуемыми свойствами – прежде всего по огнетушащей способности пены. Повышенная концентрация пенообразователя предопределяет повышенный расход пенообразователя, не способствует получению пены с требуемыми свойствами, уменьшает объем пены и время подачи пены.

Производители насосных агрегатов со встроенными системами дозирования не дают достаточной информации по погрешности дозирования, и в расчетах погрешность дозирования не учитывается. На практике же по ряду источников [1–5] ошибка дозирования может достигать до 20 %.

Анализ систем дозирования пенообразователя в насосных агрегатах пожарных автомобилей

Все применяемые системы дозирования пенообразователя в конструкциях пенного тушения можно подразделить на три типа в зависимости от конструкции и принципа подачи пенообразователя [1, 6–8] (рис. 1).

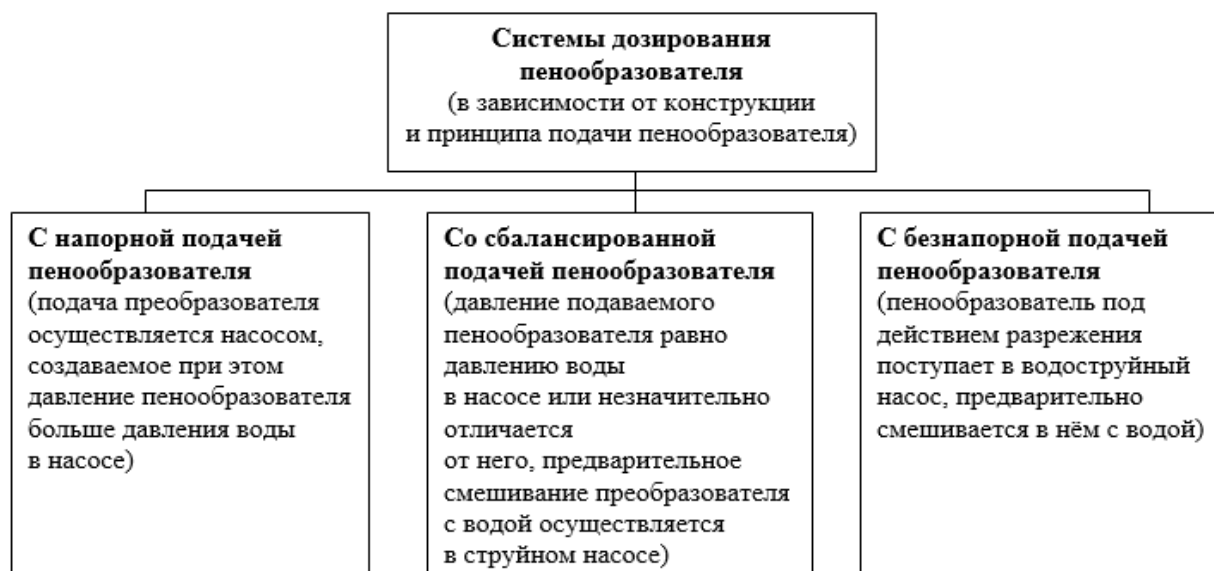


Рис. 1. Системы дозирования пенообразователя

Системы дозирования пенообразователя имеют свои особенности, входят в конструкцию пожарных насосов, а насосные агрегаты пожарных автомобилей принципиально отличаются их от центробежных насосов другого назначения.

В настоящее время в насосных агрегатах и установках пожарных автомобилей применяются различные системы (установки, узлы и т.п.) дозирования пенообразователя, которые условно можно разделить на два типа [6, 8]:

– в установках 1-го типа водный раствор необходимой концентрации при работе центробежного пожарного насоса создается в его проточных полостях, то есть во внутренней полости центробежного пожарного насоса;

– в системах 2-го типа центробежный пожарный насос выполняет только функцию подачи воды, а водный раствор пенообразователя необходимой концентрации образуется в его напорной линии (линиях).

К системам 1-го типа относятся такие конструкции, где в состав насосного агрегата входит пеносмеситель струйного типа с ручным или автоматическим дозированием пенообразователя.

Пеносмеситель струйного типа с ручным дозированием пенообразователя имеет достаточно простую конструкцию с реализацией эффекта эжекции, обеспечивает дозированную подачу пенообразователя во всасывающую полость пожарного насоса. Устройство пеносмесителя струйного типа с ручным дозированием пенообразователя и принцип работы показаны на рис. 2.

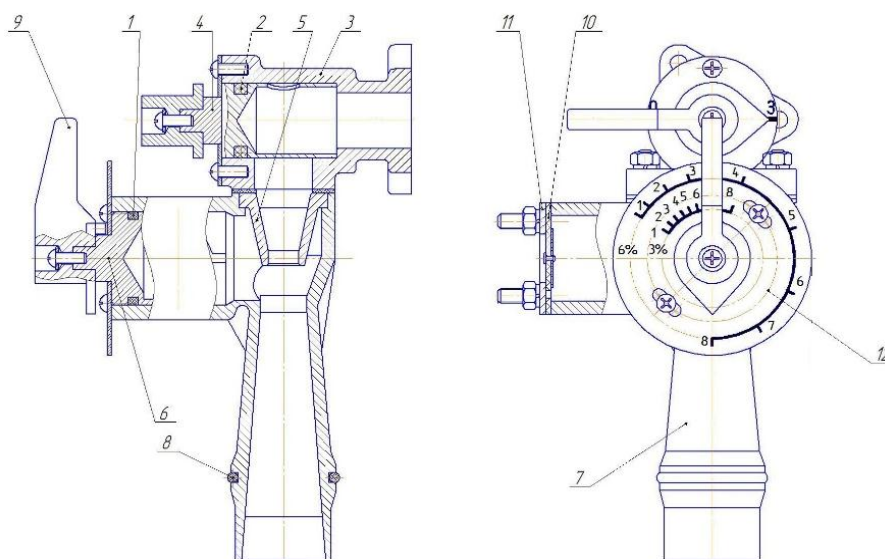


Рис. 2. Пеносмеситель ПС-8 насоса НЦПН-40/100УВМ.02:

1, 2, 8 – кольцо уплотнительное; 3 – корпус крана; 4 – кран; 5 – сопло; 6 – дозатор;
7 – корпус (диффузор); 9 – ручка; 10 – обратный клапан; 11 – крышка; 12 – шкала

Пеносмесители струйного типа с ручным дозированием пенообразователя из-за простоты и соответственно надежности конструкции имеют наибольшее распространение в «пожарном насосостроении». Такие системы компактны в конструктивном исполнении, а из-за отсутствия подвижных деталей имеют высокую надежность. Но при этом они характеризуются и недостатками.

При работе пожарного насоса часть подаваемой воды идет на работу пеносмесителя (струйного насоса) как составной части насосного агрегата, что прямо влияет на производительность насоса: снижается подача, напор, коэффициент полезного действия (К.П.Д.) пожарного насоса.

Эжекционные системы подачи (забора) и дозировки пенообразователя ручного типа достаточно апробированы и широко применяются (встраиваются) в конструкции отечественных и зарубежных пожарных насосов, в том числе из-за простоты конструктивных решений по их встраиванию в насосные агрегаты пожарных автомобилей. Из технических характеристик данных систем необходимо отметить большие погрешности по дозированию пенообразователя (получения требуемой концентрации водного раствора), что является существенным недостатком эжекционных систем подачи и дозировки пенообразователя.

Высокую точность дозирования пенообразователя возможно получить при применении в насосных агрегатах пожарных автомобилей автоматических систем [1–5]. В данных системах дозирование пенообразователя происходит автоматически, требуемая концентрация пенообразователя устанавливается пропорционально расходу водного потока. К основным техническим характеристикам автоматических систем дозирования (по анализу работы системы автоматического дозирования в центробежном пожарном комбинированном насосе NH-30 (австрийская фирма «Rosenbauer» [9–11]) можно отнести:

– автоматическое дозирование пенообразователя – получение 3 % или 6 % его водного раствора;

– точность дозирования пенообразователя не зависит от расхода и давления на насосе в пределах диапазона производительности насоса от 0 до 40 л/с во всем диапазоне рабочих давлений;

– автоматическая система обеспечивает дозирование и в режиме нормального давления (НД), и в режиме высокого давления (ВД) работы насоса.

Дозирование пенообразователя определяется расходом водного потока (принцип работы автоматической системы в режиме нормального давления приведен на рис. 3).

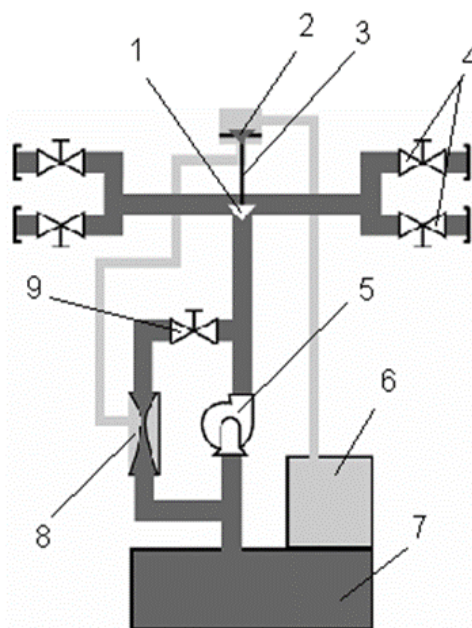


Рис. 3. Устройство (принципиальная схема) автоматической системы дозирования «FIX MIX» пенообразователя в режиме нормального давления:

- 1 – водный клапан (конус) дозирующего пропорционального клапана; 2 – пенный клапан (конус) дозирующего пропорционального клапана; 3 – шток дозирующего пропорционального клапана; 4 – напорные вентили ступени нормального давления; 5 – ступень нормального давления пожарного насоса NH-30; 6 – бак с пенообразователем; 7 – цистерна с водой; 8 – инжектор; 9 – клапан подачи воды под нормальным давлением к инжектору

Вместе с основными преимуществами автоматических систем подачи и дозировки пенообразователя (значительно меньшая погрешность дозирования) данные системы имеют значительно более сложную конструкцию, что предопределяет в организации эксплуатации автоматических систем подачи и дозировки пенообразователя строгое выполнение операций технического обслуживания (ТО) в соответствии с руководствами по эксплуатации.

Также необходимо отметить, что в основе точности дозировки пенообразователя ручными и автоматическими системами, приведенными выше, применен механический способ, при котором не возможен контроль основных параметров работы данных систем.

Требования по точности дозирования, получения пены с требуемыми свойствами, контроля работы насосных агрегатов пожарных автомобилей предопределили разработку и применение электронных систем дозирования пенообразователя, встраивание в систему микропроцессора (электронного блока управления (ЭБУ) для автоматического дозирования пенообразователя, управления и контроля работы насосных агрегатов пожарных автомобилей.

В таких системах автоматическое дозирование осуществляется путем изменения проходного сечения проточной полости пенообразователя специальным краном следующим образом: электромагнитный расходомер измеряет расход воды и посылает сигнал на ЭБУ, в зависимости от подачи насоса формируется команда электродвигателю на поворот крана-регулятора – изменение проходного сечения проточной полости пенообразователя.

Автоматическое дозирование пенообразователя с применением электронных систем обеспечивает более точное расходование и поддержание процентной концентрации пенообразователя. Однако наличие дополнительного оборудования (контроллер, расходомеры, преобразователи, электродвигатели и т.п.) значительно усложняет конструкцию насосного агрегата (рис. 4), увеличивают его стоимость, требуют соответствующего технологического оборудования при проведении диагностирования при техническом обслуживании.

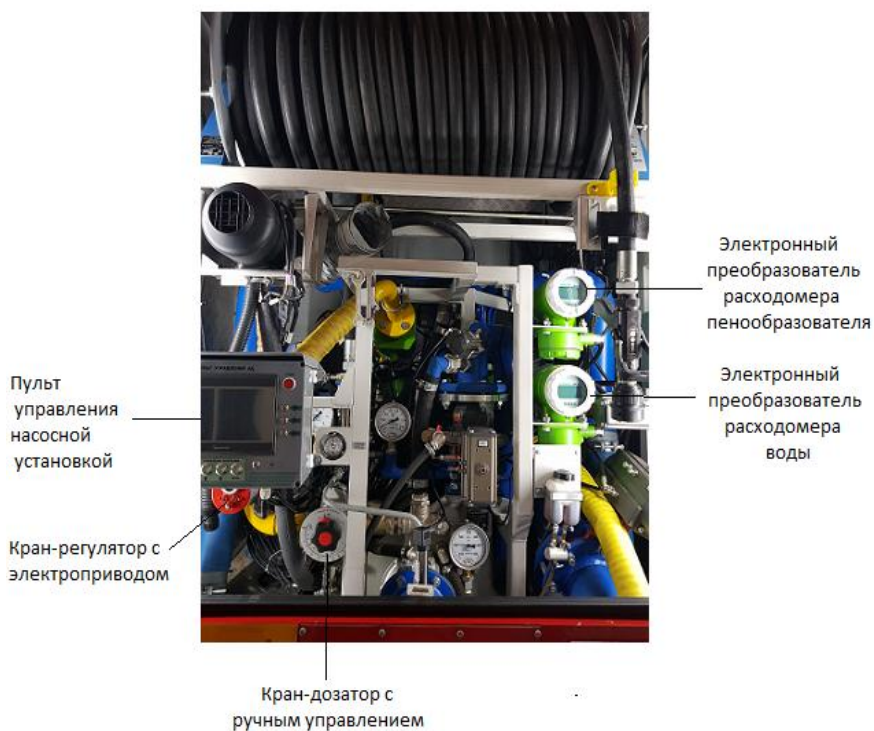


Рис. 4. Насосный агрегат НЦПК 40/100 – 4/400 М-02 в составе пожарной автоцистерны АЦ 3,2-40/4(43265) модель 029-МИ

В дополнение к техническим характеристикам эжекционных систем дозирования пенообразователя ручного и автоматического типа в составе насосного агрегата необходимо добавить существенный недостаток – наличие в проточных полостях пожарного насоса водного раствора пенообразователя, что оказывает негативное влияние на детали пожарного насоса и сокращает срок его службы.

В отличие от систем дозирования пенообразователя в составе насосного агрегата в системах дозирования 2-го типа смешение пенообразователя с водой производится за пределами внутреннего объема пожарного насоса. Использование таких систем в конструкции пожарного насоса обеспечивает одновременную подачу воды и водного раствора от одного агрегата.

Получение требуемой концентрации пенообразователя в напорной линии (линиях) пожарного насоса в настоящее время реализуется несколькими способами.

В насосных установках пожарных автомобилей как отечественного, так и зарубежного производства на одной или нескольких напорных магистралях пожарного насоса устанавливают систему смешения пенообразователя с водой, которая для работы использует только кинетическую энергию потока воды и может быть различных типов.

Наиболее простая система представляет собой пеносмеситель струйного типа с ручным дозированием пенообразователя, установленный на напорной магистрали пожарного насоса. Основные преимущества и недостатки пеносмесителей струйного типа были рассмотрены выше в системах дозирования пенообразователя 1-го типа. Необходимо отметить, что при установке пеносмесителя на напорной магистрали пожарного насоса несколько увеличивается состав его водопенных коммуникаций.

Несколько иную автоматическую систему смешения пенообразователя с водой в напорной магистрали пожарного насоса устанавливают на пожарные автомобили зарубежные производители. Так, в механической системе дозирования пенообразователя FireDos (Германия) используется энергия потока воды, для чего в напорном трубопроводе установлен гидромотор (водяной двигатель, преобразующий энергию потока воды в механическую энергию – крутящий момент на вал плунжерного насоса) (рис. 5). Гидромотор через муфту сцепления соединен с плунжерным насосом, с которым имеет одну частоту вращения, такая взаимосвязь при различных режимах работы дозатора позволяет получать требуемую концентрацию пенообразователя.

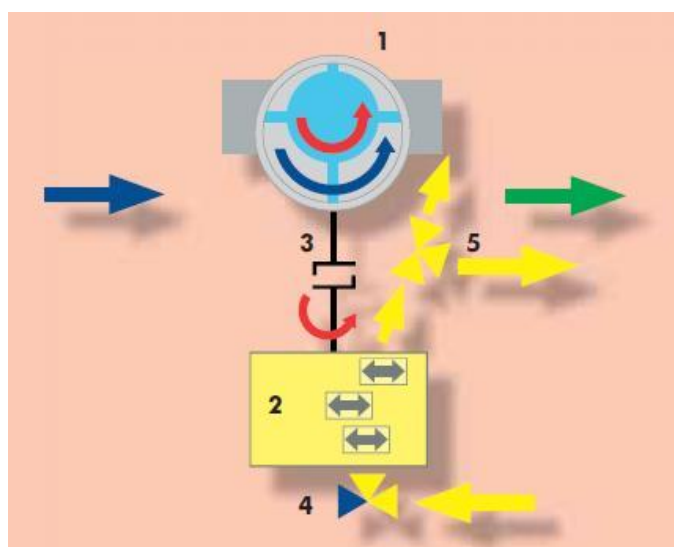


Рис. 5. Принципиальная схема работы системы дозирования пенообразователя FireDos:
1 – гидромотор на трубопроводе; 2 – плунжерный насос; 3 – муфта сцепления;
4, 5 – трехходовой шаровой кран

Пенообразователь в водный поток подает плунжерный насос высокого давления, максимально создаваемое насосом давление – 40 бар. Требуемая пропорция пенообразователя к воде обеспечивается подбором внутреннего объема гидромотора и объема плунжеров плунжерного насоса.

Между расходом воды и оборотами водяного насоса существует прямая линейная корреляция. При увеличении расхода воды увеличивается и впрыск пенообразователя. Таким образом, обеспечивается оптимальное дозирование пенообразователя при изменении расхода воды.

В отличие от пеносмесителей струйного типа, работающих по принципу эжекции, данная система производит автоматическую дозировку пенообразователя с меньшей погрешностью, так как работа такого устройства не зависит от скорости потока, а обусловлена только его расходом. При этом данная система имеет более сложную конструкцию, обусловленную применением таких элементов, как: гидромотор, плунжерный насос, муфта сцепления и другие элементы (рис. 6), отличается высокой стоимостью, а при ее эксплуатации требуется выполнение определенных операций диагностирования и технического обслуживания (проверка уровня и замена смазки в плунжерном насосе и др.).

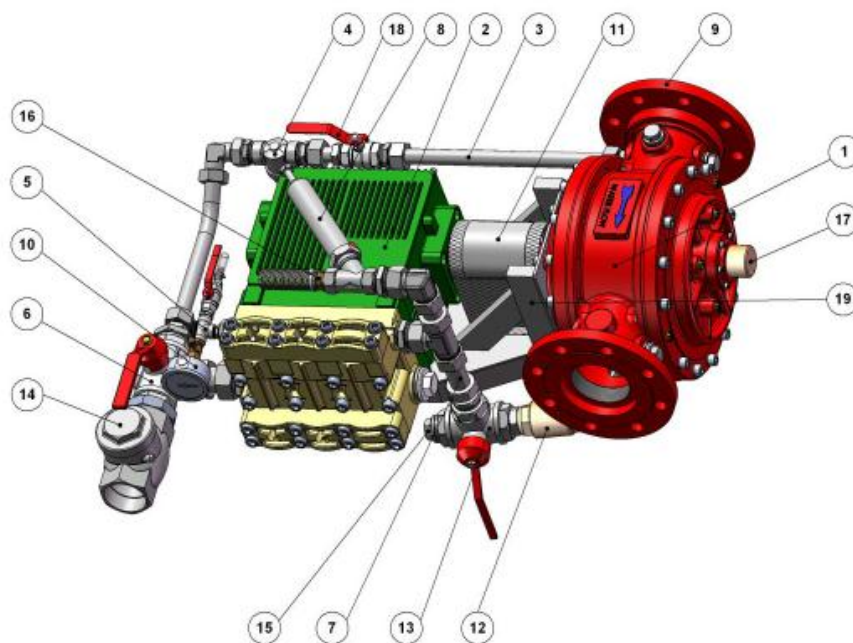


Рис. 6. Устройство дозатора FireDos:

- 1 – гидромотор; 2 – плунжерный насос; 3 – промывочный трубопровод;
 4 – фильтр на промывочном трубопроводе; 5 – клапан для выпуска воздуха; 6 – трехходовой шаровой клапан «Всасывание / Промывка»; 7 – напорный трубопровод плунжерного насоса подмешивания пенообразователя; 8 – предохранительный клапан; 9 – фланец гидромотора;
 10 – манометр; 11 – муфта сцепления; 12 – обратный подпружиненный клапан;
 13 – трехходовой шаровой клапан «Возврат пенообразователя / Подмешивание»;
 14 – обратный клапан на всасывающей линии пенообразователя; 15 – присоединение возвратного трубопровода; 16 – присоединительная резьба предохранительного клапана;
 17 – защитный колпачок шестигранника вала гидромотора для ручного проворачивания сервисным ключом; 18 – перекрывной шаровой кран промывочного трубопровода;
 19 – опорная рама

В последнее время, в связи с глобальным применением в технических средствах электронных систем управления, в конструкциях отечественных насосных агрегатов пожарных автомобилей встраиваются системы с непосредственным впрыском пенообразователя в напорные трубопроводы (патрубки) пожарного насоса с ЭБУ.

Принцип работы данных систем заключается в реализации следующего принципа: расходомер измеряет поток воды от пожарного насоса, посылает сигнал на цифровой ЭБУ, в зависимости от установочных параметров концентрации водного раствора пенообразователя, ЭБУ подает управляющую команду на выбор режима работы насоса, подающего пенообразователь, что обеспечивает установленную концентрацию пенообразователя. При этом изменения давления и объема воды на выходе пожарного насоса не влияют на дозирование пенообразователя.

Применение дозирующих систем с ЭБУ позволяет:

- установить необходимую концентрацию пенообразователя в пенном растворе в зависимости от свойств применяемого пенообразователя;
- получать информацию по общему количеству воды и пенообразователя за период эксплуатации;
- отображать информацию по давлению впрыска пенообразователя.

Анализируя вышеприведенный материал по электронным системам непосредственного впрыска пенообразователя, к основным преимуществам электронных систем непосредственного впрыска можно отнести:

- возможность работы пожарного насоса по перекачке только водяной среды (без пенообразователя), что влияет положительно на ресурс работы насоса и другие эксплуатационные показатели насоса;
- одновременную подачу от пожарного насоса воды и воздушно-механической пены;
- возможность увеличения запаса вывозимого пенообразователя при сохранении существующих объемов (применения более концентрированных (1 %) пенообразователей);
- получение требуемых свойств воздушно-механической пены.

В зависимости от типа и модели автоматические электронные системы дозирования работают на всех типах пенообразователя в диапазоне расходов пожарного насоса от 0,5 л/с до 300 л/с. В основе комплектации предусматривается независимый дозирующий насос, обеспечивающий концентрацию пенообразователя в водном растворе в диапазоне от 0,1 % до 10 % с точностью $\pm 0,05$ %, осуществляющий впрыск пенообразователя в рукавные линии как нормального (до 20 бар), так и высокого (40 бар) давления.

Для высокопроизводительных насосных установок (пожарные автомобили тяжелого класса) широко применяются системы пеносмещения FoamPro (производство США), данные системы создают водный раствор пенообразователя в диапазоне расходов пожарного насоса от 3 л/с до 120 л/с, впрыск пенообразователя в поток воды происходит на выходе из пожарного насоса. В системах FoamPro возможно применение насосов, подающих пенообразователь, с различным приводом в зависимости от модели системы: гидравлический привод или электродвигатель.

Принцип работы системы FoamPro приведен на рис. 7: поток воды от насоса измеряется расходомером, подается электрический сигнал на ЭБУ, подача насоса, подающего пенообразователь, контролируется ЭБУ, сравнение двух сигналов ЭБУ лежит в основе обеспечения требуемого объема пенообразователя в потоке воды (давление и расход воды на выходе пожарного насоса не влияют на потребность корректировки дозирования).

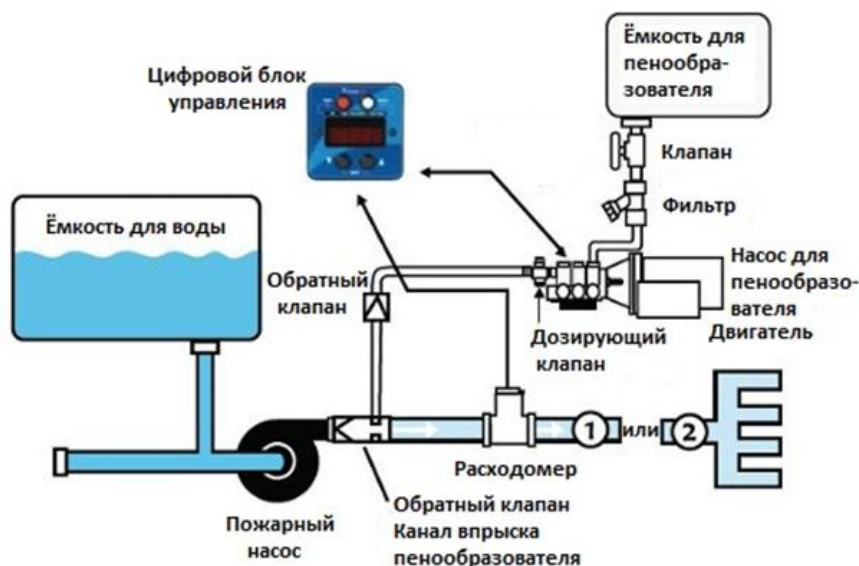


Рис. 7. Общая компоновочная схема системы FoamPro

В настоящее время такие системы разрабатывают и производят также в России. ОАО «АК Транснефть» (разработчик ООО «НИИ Транснефть») изготавливает автоматические установки дозирования пенообразователя АУДП-100 и АУДП-150 (рис. 8.) для применения с центробежными пожарными насосами нормального давления производительностью 100 и 150 л/с [12, 13].

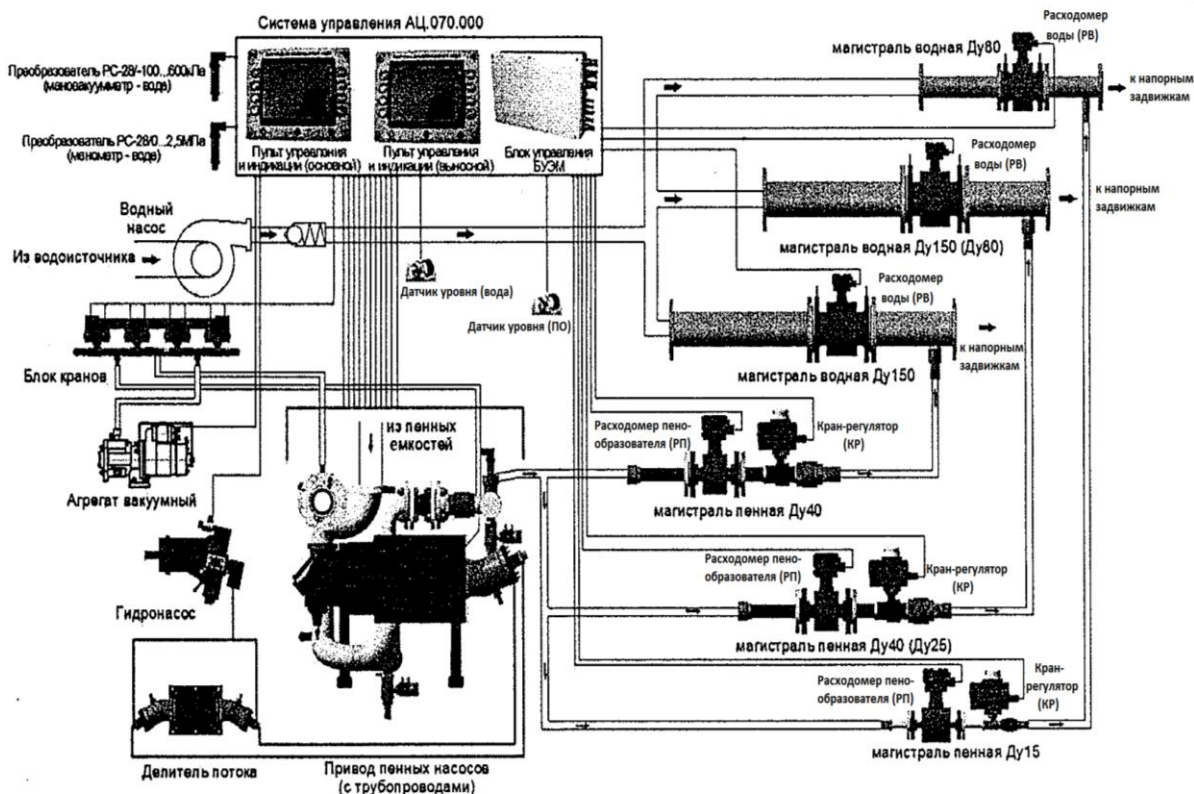


Рис. 8. Общая функциональная схема АУДП [12]

Особенностью систем является подача пенообразователя к точкам впрыска. Подача может осуществляться от различных источников, возможна подача пенообразователя от источников, уровень которых ниже уровня дозирующего насоса на основе применения встроенной автоматической вакуумной системы.

Для промывки от продуктов кристаллизации и коагуляции пенообразователя проточных полостей установки в конструкции АУДП встроен программно-управляемый кран, функция крана – переключение входной магистрали дозирующего насоса с забора пенообразователя на воду, отбираемую с выхода центробежного пожарного (водяного) насоса.

Как следует из представленного анализа существующих систем дозирования пенообразователя в насосных агрегатах и установках пожарных автомобилей, все данные системы имеют как преимущества (достоинства), так и особенности, усложняющие конструкцию, требующие необходимого технологического оборудование и подготовленных специалистов при эксплуатации этих систем.

При выборе систем дозирования пенообразователя в насосных агрегатах пожарных автомобилей решающим будет два фактора:

- 1 – функциональное назначение пожарного автомобиля;
- 2 – стоимость насосной установки и в целом пожарного автомобиля.

Основываясь на опыте эксплуатации систем дозирования пенообразователя в насосных агрегатах или установках пожарных автомобилей, требованиях к самим насосным агрегатам, можно выделить основные требования, которые необходимо учитывать производителям при разработке и производстве систем дозирования.

При проектировании данных систем (впрочем, как и всех механизмов) следует учитывать следующие требования:

- относительная простота и удобство управления;
- доступность частей системы для проведения осмотров, технических обслуживаний и ремонта (данное требование имеет особое значение для систем (установок) с электронным управлением);
- подбор шасси, кузова, насосного отсека под систему для обеспечения гидравлического или электрического привода к насосам;
- обеспечение доступа к элементам системы для возможности выполнения операций техобслуживания и ремонта.

Например, при монтаже АУДП производители пожарных автомобилей устанавливают фильтр на входе в насосы, подающие пенообразователь, требуемый ежемесячного обслуживания, без свободного доступа, что в итоге при эксплуатации приводит к невыполнению данной операции технического обслуживания.

Система трубопроводов должна быть спроектирована и установлена таким образом, чтобы соблюдались меры и средства по снижению вибрации и исключалась возможность их разгерметизации.

Для повышения надежности систем дозирования пенообразователя, при возникшей неисправности электрооборудования пожарного автомобиля, запорная арматура (краны, в том числе и дозирующие, затворы и т.п.) с электроприводом должна иметь ручной привод.

При подаче воздушно-механической пены и работе пожарного насоса с подпором воды в его всасывающей полости из-за возможного нарушения режима работы насосного агрегата возможен обратный ток пенообразователя и попадание воды в емкость с пенообразователем. В таких случаях, чтобы избежать попадания воды в емкость с пенообразователем, необходима установка на линии (трубопроводе) забора пенообразователя в пеносмеситель обратного клапана. Как правило, производители насосных агрегатов устанавливают обратный клапан в месте присоединения всасывающей линии к пеносмесителю.

Из-за склонности пенообразователя к коагуляции и кристаллизации рекомендуется по завершению подачи водного раствора пенообразователя тщательная промывка всех

проточных частей насосного агрегата, контактирующих с пенообразователем и его водным раствором чистой водой. Эксплуатационная документация на пожарные автомобили от предприятий-изготовителей, руководящие документы (приказы и рекомендации МЧС России) указывают на необходимость производить данную промывку сразу после подачи водного раствора пенообразователя (в том числе и при техническом обслуживании на пожаре) с забором чистой воды в пеносмеситель или иную систему дозирования пенообразователя из внешнего водоисточника или посторонней емкости. Однако на практике это требование в полном объеме (то есть с забором пенообразователя из внешнего водоисточника) реализовать по определенным причинам затруднительно, и такая полная промывка производится в лучшем случае уже по возвращению в пожарное депо.

На основании опыта эксплуатации автоматических электронных систем дозирования с непосредственным впрыском пенообразователя в напорные магистрали пожарного насоса АУДП и FoamPro можно предложить следующее.

Насосы для перекачки пенообразователя (далее пенные насосы) и их привод должны обеспечивать подачу пенообразователя с целью получения требуемой процентной концентрации его водного раствора (от 0,5 % до 6 %) во всем диапазоне работы центробежного пожарного насоса.

Для ограничения избыточного давления гидравлический привод пенных насосов и сами пенные насосы должны быть оборудованы предохранительными (перепускными) клапанами.

При работе пенного насоса его смазка частично производится рабочей жидкостью, за счет смазывающей способности пенообразователя. Так, в шестеренных насосах для подачи пенообразователя рабочая жидкость (пенообразователь) обеспечивает необходимый коэффициент скольжения вала насоса по подшипнику. В режиме промывки эти же насосы работают на воде. В этом случае рабочая жидкость не обладает требуемой вязкостью и соответственно смазывающей способностью. Поэтому длительная работа на воде без специальных смазок может вывести пенные насосы из строя. Таким образом, конструкция пенных насосов должна обеспечить нормативное время их непрерывной работы при подаче пенообразователя в соответствии с требованиями [13] и необходимое время при подаче воды с целью промывки системы. При этом допускается производить смазку деталей пенных насосов дополнительными средствами.

В связи с возможностью коагуляции и кристаллизации пенообразователя в проточных полостях конструкция пенных насосов должна обеспечивать возможность их разборки и сборки с применением рекомендуемых изготовителем способов, инструментов и принадлежностей.

В корпусе насоса следует предусматривать устройства (краны), обеспечивающие слив рабочей жидкости из его полостей.

Для предотвращения обратного тока жидкости и в целях исключения попадания пенообразователя в пожарный насос и воды в пенный насос в таких системах требуется установка обратных клапанов в напорных линиях подачи воды перед точками впрыска пенообразователя и напорных линиях впрыска пенообразователя.

В управлении автоматических систем дозирования пенообразователя с его непосредственным впрыском в напорные магистрали пожарного насоса должны предусматриваться следующие блокировки:

- работа установки возможна только при работающем пожарном насосе;
- работа пенных насосов должна автоматически останавливаться в случае, если в подключенной емкости закончился пенообразователь;
- работа пенных насосов невозможна на сверхноминимальных режимах по давлению пенообразователя и частоте вращения.

Вся информация о состоянии и работе установки должна отражаться на дисплее пульта управления.

Для визуального контроля работы установки следует устанавливать контрольно-измерительные приборы и указатели:

- манометры (измерение давления, создаваемого насосами);
- расходомеры (производительность насосов по воде и пенообразователю);
- указатель частоты вращения (частота вращения приводного вала пенных насосов);
- указатель частоты вращения приводного вала центробежного пожарного насоса;
- указатель заданной концентрации пенообразователя (в %);
- указатель текущей концентрации пенообразователя (в %);
- указатель давления (давление воды на входе и на выходе центробежного пожарного насоса);
- указатель уровня (указатель уровня воды в емкости для воды; уровня пенообразователя в емкости для пенообразователя);
- указатель времени работы установки (автоматическое включение только при вращении приводного вала пенных насосов).

В случае какой-либо нештатной ситуации на панели управления и индикации пульта управления должна быть установлена кнопка аварийного останова «STOP» для оперативной остановки пенных насосов и перевода системы в исходное состояние.

Также необходимо отметить и следующее: при оборудовании насосных установок пожарных автомобилей автоматическими электронными системами дозирования с непосредственным впрыском пенообразователя в напорные магистрали пожарного насоса производители, с целью повышения гарантии подачи водного раствора пенообразователя, устанавливают дополнительно на насосный агрегат и систему дозирования пенообразователя 1-го типа с пеносмесителем струйного типа и ручной дозировкой пенообразователя.

Заключение

Применение различных систем дозирования пенообразователя (установки, узлы, элементы автоматики и др.) в насосных агрегатах передвижной пожарной техники в настоящее время определяется как комплексом задач подачи пены с требуемой характеристикой на обслуживаемых объектах, так и параметрами конструктивных и технических характеристик встраиваемых систем диагностирования, объемом проведения работ диагностирования, технического обслуживания данных систем.

На основе проведенного анализа конструкций и эксплуатации систем дозирования применение автоматических систем дозирования с непосредственным впрыском пенообразователя в напорные магистрали пожарного насоса является одним из перспективных направлений. В работе сформированы требования, которые необходимо учитывать при разработке и производстве систем дозирования для насосных агрегатов пожарных автомобилей, данные требования необходимо учесть и при составлении национального стандарта Российской Федерации для систем дозирования пенообразователя насосных агрегатов пожарных автомобилей.

Список источников

1. ГОСТ Р 53252–2009. Техника пожарная. Пеносмесители. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200071916 (дата обращения: 11.06.2023).
2. ГОСТ Р 52283–2004. Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200038805 (дата обращения: 13.06.2023).
3. ГОСТ Р 50588–2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200093407 (дата обращения: 29.05.2023).

4. Дозатор пожарный напорный «Фомикс» // ООО «Пожнефтехим». URL: <http://www.pnx-spb.ru> (дата обращения: 01.06.2023).
5. Корольченко Д.А. Устройство дозирования раствора пенообразователя – наиболее важный элемент пенного пожаротушения // Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 2. С. 32–35.
6. Пожарная техника: учеб.: в 2-х ч. / Б.В. Гавкалюк [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. Ч. 1. 372 с.
7. Преснов А.И., Данилевич А.В. Системы пенного тушения пожарных автомобилей. Новые технологии, проблемные вопросы, перспективы // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 3. С. 47–54.
8. Преснов А.И., Печурин А.А., Данилевич А.В. Оборудование пенного тушения насосных установок пожарных автомобилей: состояние, инновации, проблемы, технические решения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 29–37.
9. Яковенко Ю.Ф. Современные пожарные автомобили: монография. М.: Стройиздат, 1988.
10. Дозирующие системы. Дозатор GB. URL: <http://www.pyro-cool.com.ua> (дата обращения: 20.05.2023).
11. Пожарная автоцистерна АЦ-3,2-40/4(43253) модель 001-МС: Руководство по эксплуатации 001-МС-00-000-00РЭ. М.: ЗАО «Производственное объединение «Спецтехника пожаротушения», 2011.
12. Установки дозирования пенообразователя «АУДП-100» и «АУДП-150». Руководство по монтажу и эксплуатации КШИН.063838.001РЭ. Н. Новгород: АО «Транснефть-Верхняя Волга», 2013.
13. ГОСТ Р 52283–2019. Техника пожарная. Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200170255 (дата обращения: 11.06.2023).

References

1. GOST R 53252–2009. Tekhnika pozharnaya. Penosmesiteli. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200071916 (data obrashcheniya: 11.06.2023).
2. GOST R 52283–2004. Nasosy centrobezhnye pozharnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200038805 (data obrashcheniya: 13.06.2023).
3. GOST R 50588–2012. Penoobrazovateli dlya tusheniya pozharov. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200093407 (data obrashcheniya: 29.05.2023).
4. Dozator pozharnyj napornyj «Fomiks» // ООО «Pozhneftekhim». URL: <http://www.pnx-spb.ru> (data obrashcheniya: 01.06.2023).
5. Korol'chenko D. A. Ustrojstvo dozirovaniya rastvora penoobrazovatelya – naibolee vazhnyj element pennogo pozharotusheniya // Pozharnaya bezopasnost' v stroitel'stve. 2011. № 2. S. 32–35.
6. Pozharnaya tekhnika: ucheb.: v 2-h ch. / B.V. Gavkalyuk [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. Ch. 1. 372 s.
7. Presnov A.I., Danilevich A.V. Sistemy pennogo tusheniya pozharnyh avtomobilej. Novye tekhnologii, problemnye voprosy, perspektivy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 3. S. 47–54.
8. Presnov A.I., Pechurin A.A., Danilevich A.V. Oborudovanie pennogo tusheniya nasosnyh ustanovok pozharnyh avtomobilej: sostoyanie, innovacii, problemy, tekhnicheskie resheniya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 29–37.
9. Yakovenko Yu.F. Sovremennye pozharnye avtomobili: monografiya. M.: Strojizdat, 1988.

10. Doziruyushchie sistemy. Dozator GB. URL: <http://www.pyro-cool.com.ua> (data obrashcheniya: 20.05.2023).
11. Pozharnaya avtocisterna AC-3,2-40/4(43253) model' 001-MS: Rukovodstvo po ekspluatatsii 001-MS-00-000-00RE. M.: ZAO «Proizvodstvennoe ob"edinenie «Spectekhnika pozharotusheniya», 2011.
12. Ustanovki dozirovaniya penoobrazovatelya «AUDP-100» i «AUDP-150». Rukovodstvo po montazhu i ekspluatatsii KSHIN.063838.001RE. N. Novgorod: AO «Transneft'-Verhnyaya Volga», 2013.
13. GOST R 52283–2019. Tekhnika pozharnaya. Nasosy centrobezhnnye pozharnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200170255 (data obrashcheniya: 11.06.2023).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 27.06.2023; одобрена после рецензирования: 29.08.2023; принята к публикации: 07.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 27.06.2023; approved after review: 29.08.2023; accepted for publication: 07.09.2023

Информация об авторах:

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, <https://orcid.org/0000-0003-1018-2429>, SPIN-код: 9581-7460

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: alexeypresnov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2491-630X>, SPIN-код: 7341-0844

Маркова Нина Борисовна, заместитель начальника отдела практического обучения учебно-методического центра Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: AnakinaNina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4075-4689>

Information about the authors:

Pechurin Alexander A., associate professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, assistant professor, e-mail: pechurinas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1018-2429>, SPIN: 9581-7460

Presnov Alexey I., associate professor of the department of retraining and advanced training of specialists of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, assistant professor, e-mail: alexeypresnov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2491-630X>, SPIN: 7341-0844

Markova Nina B., deputy head of the practical training department of the educational and methodological center of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: AnakinaNina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4075-4689>

Научная статья

УДК 614: 66.022.387; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-120-130

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Калач Андрей Владимирович;

✉ **Головина Екатерина Валерьевна.**

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия.

Крутолапов Александр Сергеевич.

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

✉ ***ekaterinagolovina@yandex.ru***

Аннотация. Современные полимерные материалы, используемые в строительстве, транспорте и бытовых изделиях, характеризуются, как правило, высокой воспламеняемостью и горючестью, что оказывает существенное влияние на обеспечение требуемого уровня противопожарной защиты. Предложены вариант формализации выбора огнезащитного покрытия и алгоритм его обоснования. Предлагаемый алгоритм выбора огнезащитного покрытия предполагает предварительную количественную оценку пожарной опасности; анализ возможных сценариев развития пожара; выбор типа системы огнезащиты с учетом окружающей среды эксплуатации, размера потенциального ущерба от пожара, технических, экономических и человеческих факторов и обоснование выбора огнезащитного покрытия, обеспечивающего заданный (требуемый) уровень противопожарной защиты.

Ключевые слова: алгоритм, интумесцентные составы, огнезащита, стальные конструкции, нефтегазовый комплекс

Для цитирования: Калач А.В., Головина Е.В., Крутолапов А.С. Современные средства обеспечения огнезащиты стальных конструкций объектов нефтегазового комплекса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 120–130. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-120-130.

Scientific article

MODERN MEANS OF ENSURING FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES OF OIL AND GAS FACILITIES

Kalach Andrey V.;

✉ **Golovina Ekaterina V.**

Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia.

Krutolapov Alexander S.

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

✉ ***ekaterinagolovina@yandex.ru***

Abstract. Modern polymer materials used in construction, transport and household products characterized, as a rule, by high flammability and combustibility, which has a significant impact on ensuring the required level of fire protection. A variant of the formalization of the choice of a flame retardant coating is proposed and an algorithm for its justification is proposed. The proposed algorithm for choosing a fire-retardant coating assumes a preliminary quantitative assessment of fire danger; analysis of possible scenarios of fire development; the choice of the type

of fire protection system taking into account the operating environment, the size of potential damage from fire, technical, economic and human factors, and the rationale for choosing a fire-resistant coating that provides the specified (required) level of fire protection.

Keywords: algorithm, intumescent compositions, fire protection, steel structures, oil and gas complex

For citation: Kalach A.V., Golovina E.V., Krutolapov A.S. Modern means of ensuring fire protection of steel structures of oil and gas facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 120–130. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-120-130.

Введение

Строительные технологии непрерывно эволюционировали от пещерных жилищ до современных высотных многоэтажных зданий различных конструкций. Современные здания характеризуются высоким энергопотреблением, энергоэффективностью, тепловым комфортом, экоархитектурой, динамической адаптацией к любым изменениям климата, использованием инновационных строительных материалов и высокой пожарной нагрузкой. Особую роль в обеспечении пожарной безопасности в таких зданиях играют современные строительные материалы и стальные конструкции.

Современные строительные материалы, как правило, состоят из полимеров различной природы. Синтетические полимерные материалы, используемые в строительстве, транспорте и бытовых изделиях, характеризуются, как правило, высокой воспламеняемостью и горючестью, что оказывает существенное влияние на обеспечение требуемого уровня противопожарной защиты. Традиционным решением для улучшения огнестойкости материала является включение огнезащитных добавок или химически активных антипиренов в материал, что повышает огнестойкость строительных конструкций [1–5]. Следовательно, актуальным является исследование возможностей современных огнезащитных составов для обеспечения нормативного уровня противопожарной защиты различных конструкций.

Целью исследования является разработка алгоритма обоснования выбора огнезащитного покрытия.

Для реализации данной цели были решены следующие задачи:

- анализ существующих методов исследования огнезащитных покрытий;
- изучение огнезащитных материалов разной химической природы для оценки возможности применения на объектах нефтегазовой отрасли.

Методы исследования

При выполнении исследования проведен анализ существующих методов испытаний средств огнезащиты:

- метод определения огнезащитной эффективности в соответствии с ГОСТ 53295–2009 [6];
- методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов в соответствии с ГОСТ 9.401–2018 [7];
- оценка допустимого срока эксплуатации тонкослойных огнезащитных покрытий в различных климатических условиях в соответствии с методикой [8];
- метод синхронного термического анализа (СТА) [9].

Среди всего многообразия методов исследования огнезащитных материалов, остановимся на [6] и [9].

Результаты и их обсуждение

В настоящее время наметилась тенденция применения для огнезащиты в качестве компонентов покрытий модифицирующих и технологических добавок, снижающих пожарную опасность покрытий, что позволяет улучшить их эксплуатационные характеристики.

Поскольку использование галогенсодержащих огнезащитных добавок ограничено в связи с требованиями норм защиты окружающей среды [10], приобрели актуальное практическое применение следующие три варианта огнезащитных компонентов (добавок): кремниевая, фосфорная и сульфонатная [11–13].

Кремнийсодержащие антипирены представляют собой самые безопасные с точки зрения влияния на окружающую среду огнезащитные добавки. В настоящее время кремнийорганические антипирены в основном представлены полисилоксановыми компонентами, характеризующимися высокой огнезащитной эффективностью и сложным технологическим процессом массового производства [14]. Использование силикатных неорганических материалов со слоистой структурой повышает пределы огнестойкости строительных конструкций и обеспечивает требуемую огнезащитную эффективность материалов [15].

Фосфорсодержащие антипирены представляют собой высокоэффективные огнезащитные составы, характеризующиеся низкой дымообразующей способностью, малой токсичностью и простотой нанесения. Следует отметить, что среди таких огнезащитных составов широкое распространение получили различные фосфаты [16].

Механизм действия огнезащитных составов на основе соединений фосфора действует главным образом в твердой фазе полимерных материалов и приводит к обугливанию полимера, тем самым подавляя процесс пиролиза и горения. При этом вспучивающиеся антипирены образуют устойчивый слой пены, который действует как барьер между пламенем и горючим защищаемым материалом. Фосфорсодержащие антипирены широко используются в качестве аддитивных систем, повышающих огнестойкость материалов благодаря хорошим огнезащитным свойствам. Кроме того, фосфорсодержащие огнезащитные материалы часто используются в сочетании с другими антипиренами – включая азотсодержащие соединения, нанонаполнители и гидроксиды металлов [17–18].

Помимо модифицирующих компонентов, улучшающих термостойкость пенококсового слоя в интумесцентных системах, необходим анализ природы связующего огнезащитной композиции [19].

Для объектов нефтегазового комплекса характерно развитие углеводородного горения, в связи с чем целесообразно использование огнезащитных композиций на основе эпоксидных смол (рис. 1, 2).

Результаты исследований огнезащитных материалов на огнезащитную эффективность в условиях углеводородного температурного режима графически представлены на рис. 1–4.

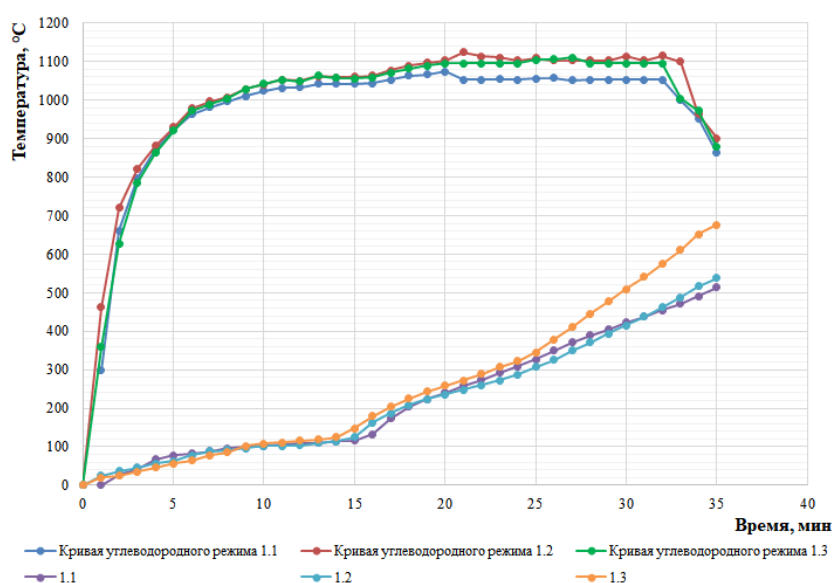


Рис. 1. Результаты испытаний огнезащитного покрытия на силиконовой основе

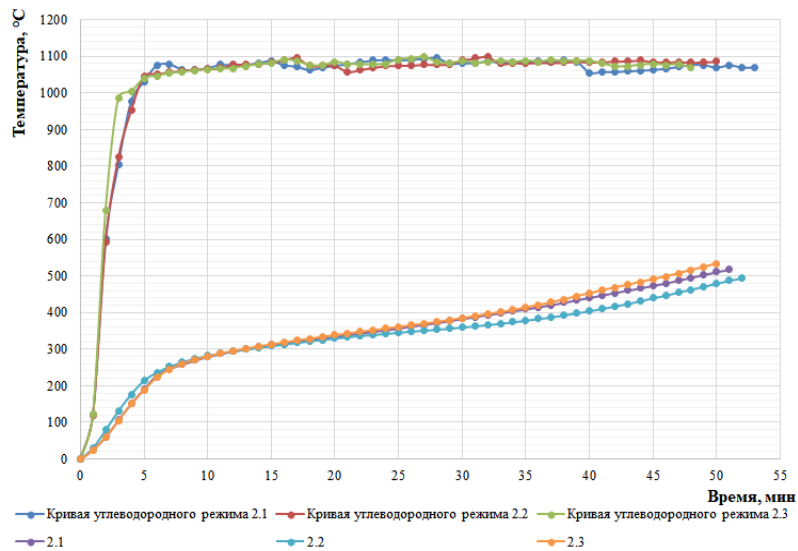


Рис. 2. Результаты испытаний огнезащитного покрытия на основе эпоксидных смол

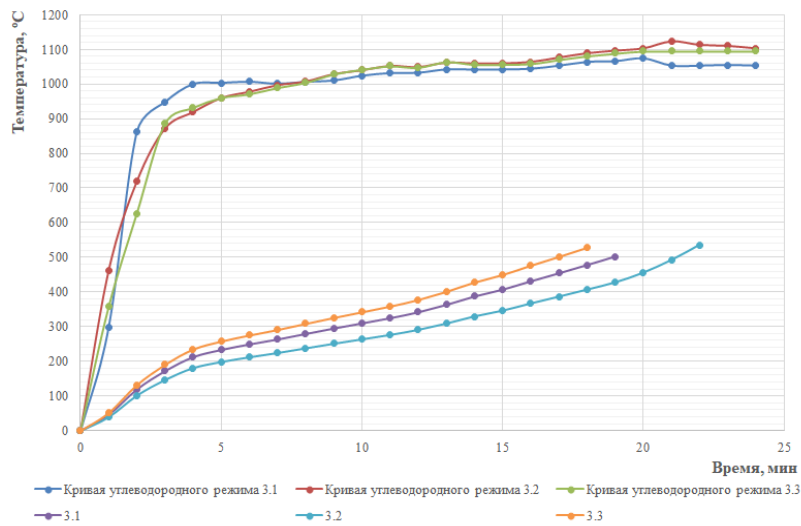


Рис. 3. Результаты испытаний огнезащитного покрытия на основе акриловой дисперсии

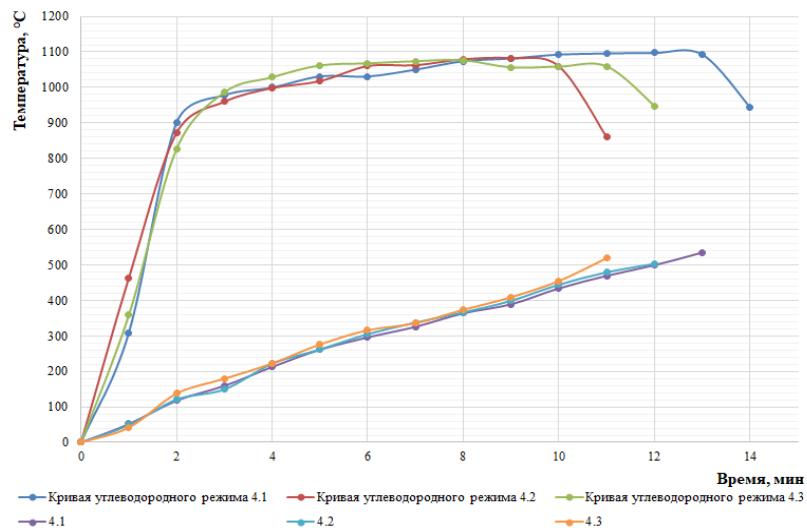


Рис. 4. Результаты испытаний огнезащитного покрытия на основе водной дисперсии

В условиях углеводородного режима горения происходит резкий скачок температуры до величины 1 100 °С, в связи с чем матрицы, состоящие из полимеров-термопластов, начинают плавиться, и, как следствие, происходит стекание композиции с защищаемой поверхности, в то время как олигомеры, содержащие эпоксидные группы (эпоксиды), способны создать условия для сохранения огнезащитного состава на металлоконструкции до достижения температуры формирования пенококсового слоя [20]. Именно благодаря образовавшемуся пенококсу происходит обеспечение необходимого уровня огнезащитной эффективности металлических конструкций промышленных объектов в условиях не только стандартного, но и углеводородного горения.

Широкое использование интумесцентных защитных составов обусловлено высокой термической стабильностью в широком диапазоне температур и высокой адгезией к различным защищаемым поверхностям и когезией, а также существованием синергетического защитного поведения, позволяющего уменьшить теплопередачу в сторону защищаемой поверхности до 100 раз (рис. 5–8).

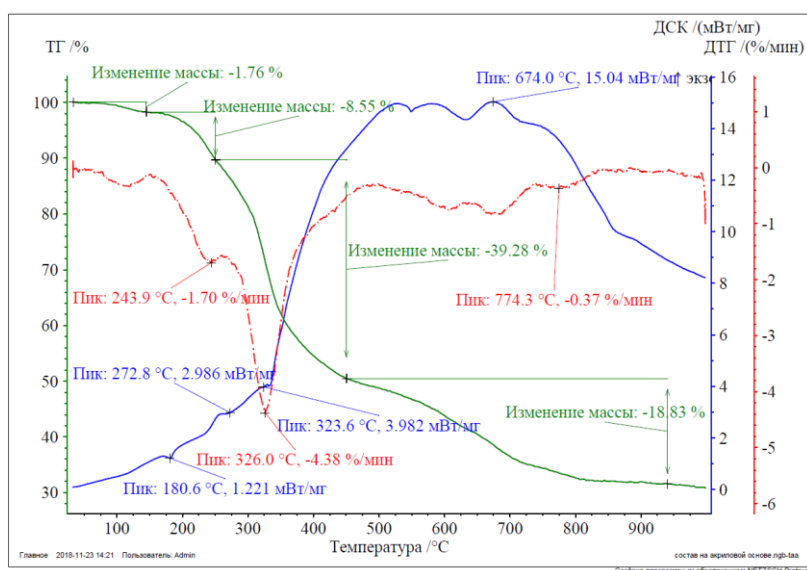


Рис. 5. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе водной дисперсии

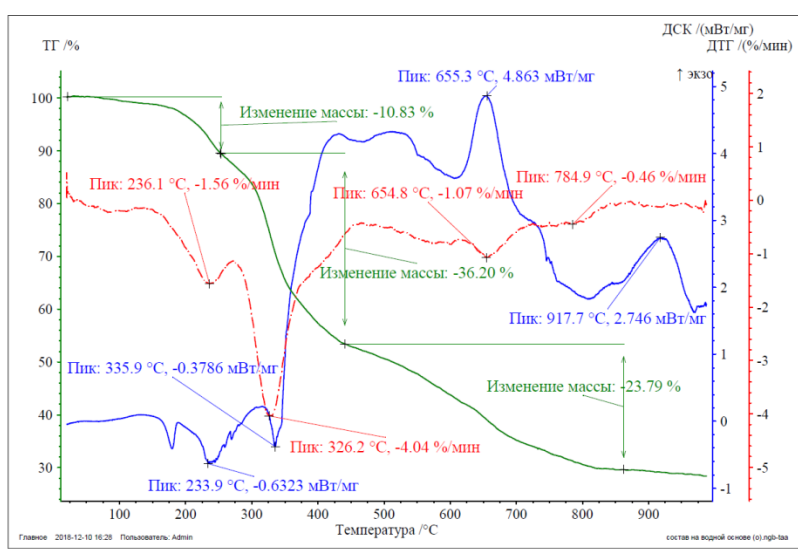


Рис. 6. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе акриловой дисперсии

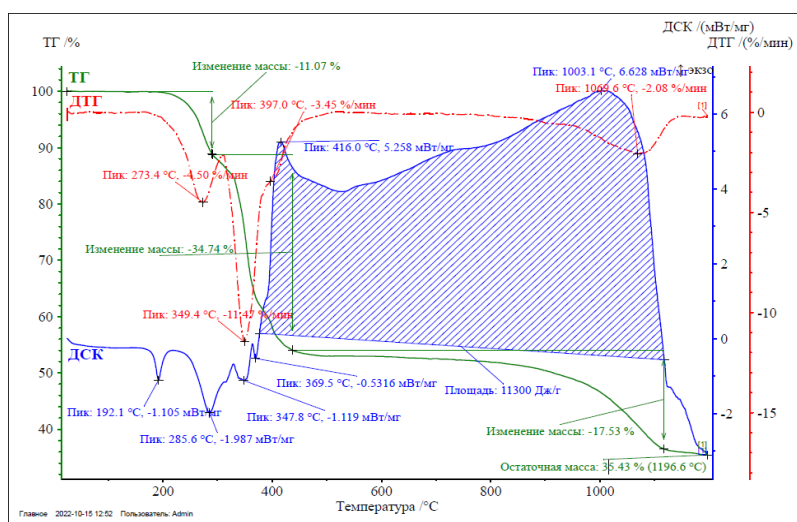


Рис. 7. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе силиконового связующего

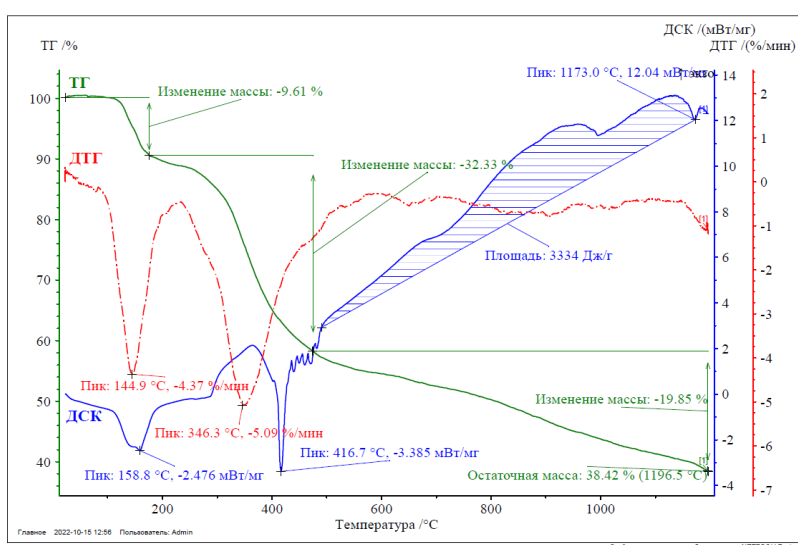


Рис. 8. Результат исследования методом СТА огнезащитного вспучивающегося состава на основе эпоксидной смолы

Анализ работ [13–21] показывает, что даже незначительное изменение процентного содержания компонентов оказывает сильнейшее влияние как на огнезащитные, так и на эксплуатационные свойства огнезащитного вспучивающегося состава.

Таким образом, можно сделать вывод, что универсальных огнезащитных интумесцентных составов со строго определенным соотношением компонентов не существует, поэтому при разработке вспучивающегося покрытия всегда встает задача обоснованного и оптимизированного подхода к выбору компонентов.

Следует отметить, что в настоящее время единый универсальный формализованный подход к выбору эффективных огнезащитных составов стальных конструкций объектов нефтегазового комплекса отсутствует.

В связи с этим алгоритмизация обоснования выбора огнезащитных покрытий, работающих в сложных условиях эксплуатации, характерных для предприятий нефтегазового комплекса, является актуальной задачей повышения пожарной и промышленной безопасности оборудования и сооружений.

За основу алгоритма выбора защитного покрытия был принят один из методов, приведенный в работе [22].

Усовершенствованная авторами схема алгоритма обоснования и выбора соответствующего сценариям пожара огнезащитного покрытия представлена на рис. 9.

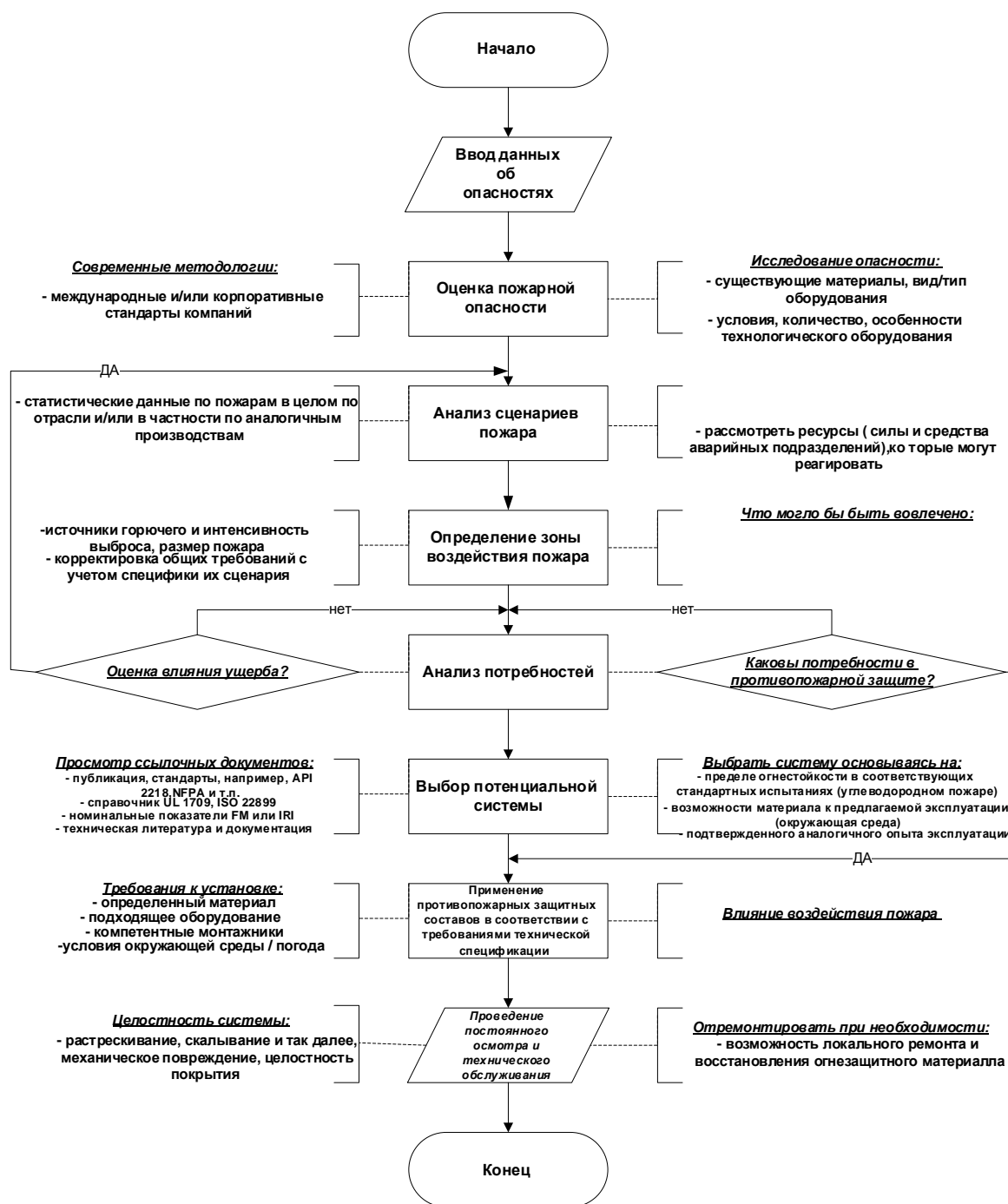


Рис. 9. Схема алгоритма обоснования выбора огнезащитного покрытия

Заключение

Предлагаемый алгоритм выбора огнезащитного покрытия включает в себя предварительную работу, которая может применяться при проведении расчетов по количественной оценке пожарной опасности; анализ возможных сценариев развития пожара (расчет скорости выгорания и определение размеров зон пожара); определение типа системы

огнезащиты с учетом окружающей среды эксплуатации и агрессивных воздействий на защитные покрытия, размера потенциального ущерба от пожара, технических, экономических и человеческих факторов; обоснование выбора огнезащитного покрытия с учетом данных о результатах испытаний, достаточного для обеспечения заданного (требуемого) уровня противопожарной защиты.

Таким образом, осуществлена формализация выбора огнезащитного покрытия и предложен алгоритм его обоснования.

Список источников

1. Fast fabrication of a light-scattering polycarbonate with high transmittance, high haze, and excellent flame-retardant performance / Y. Duan [et al.] // *J. Appl. Polym. Sci.* 2022. Vol. 139 (43). P. 53055. DOI: 10.1002/app.53055.
2. Transparent, highly thermostable and flame retardant polycarbonate enabled by rod-like phosphorous-containing metal complex aggregates / T. Sai [et al.] // *Chemical engineering journal.* 2021. Т. 409. С. 128223. DOI: 10.1016/j.cej.2020.128223.
3. Повышение безопасности объектов нефтегазового комплекса путем совершенствования огнезащитных составов / Е.В. Головина [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность.* 2022. Т. 31. № 3. С. 24–33. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.24-33.
4. Making polycarbonate flame retardant: Flame retardant selection and calorimetric analyses / De-jia Chen [et al.] // *Polymer testing.* 2023. Vol. 117. P. 107876. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2022.107876.
5. Совершенствование методов и средств огнезащиты на основе термостойких минеральных наполнителей для металлических конструкций: монография / А.Ю. Акулов [и др.]. Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2015. 161 с.
6. ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. ГОСТ 9.401–2018. Методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Оценка допустимого срока эксплуатации тонкослойных огнезащитных покрытий в различных климатических условиях: методика. М.: ВНИИПО МЧС России, 2015. 38 с.
9. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
10. A review of environmental occurrence, fate, and toxicity of novel brominated flame retardants / P. Xiong [et al.] // *Environmental science & technology.* 2019. Vol. 53 (23). P. 13551–13569. DOI: 10.1021/acs.est.9b03159.
11. High-performance flame-retardant polycarbonate composites: Mechanisms investigation and fire-safety evaluation systems establishment / X. Mu [et al.] // *Composites Part B: Engineering.* 2022. Т. 238. С. 109873. DOI: 10.1016/j.compositesb.2022.109873.
12. Крашенинникова М.В. Тенденции и перспективы разработки композиций вспучивающихся огнезащитных покрытий для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций // *Пожаровзрывобезопасность.* 2008. № 2. С. 36–39.
13. Bezzaponnaya O.V., Golovina E.V. Effect of mineral fillers on the heat resistance and combustibility of an intumescent fireproofing formulation on silicone base // *Russian journal of applied chemistry.* 2018. Т. 91. № 1. P. 96–100.
14. Li Y.M., Hu S.L., Wang D.Y. Polymer-based ceramifiable composites for flame retardant applications: A review // *Composites communications.* 2020. Т. 21. P. 100405.
15. Design and application of highly efficient flame retardants for polycarbonate combining the advantages of cyclotriphosphazene and silicone oil / J. Jiang [et al.] // *Polymers.* 2019. Т. 11. № 7. P. 1155. DOI: 10.3390/polym11071155.

16. Gao Z., Ren X., Miao Z. Research advances of phosphorus flame retardants in flame retardant polycarbonate // *Chemistry*. 2021. Т. 84. № 11. P. 1191–1199.
17. Eremina T., Korolchenko D. Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions // *Buildings*. 2020. Vol. 10. P. 1–14.
18. Palazzi E., Fabiano B. Analytical modelling of hydrocarbon pool fires: Conservative evaluation of flame temperature and thermal power // *Process. Saf. Environ. Prot.* 2012. № 90. P. 121–128. DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.009.
19. Papaspyrides C.D., Kiliaris P. Polymer green flame retardants. Chapter 6: Phosphorus-based and intumescent flame retardants. Elsevier, 2014. P. 221–254. DOI: 10.1016/B978-0-444-53808-6.00006-8.
20. Еремина Т.Ю., Гравит М.В., Дмитриева Ю.Н. Особенности и принципы построения рецептур огнезащитных вспучивающихся композиций на основе эпоксидных смол // *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. № 7. С. 52–56.
21. Cirpici K.B., Wang Y.C., Rogers B.D. An analytical approach for predicting expansion of intumescent coating with different heating conditions // 12th International congress on advances in civil engineering. Istanbul, Turkey, 2016. P. 1–8.
22. Клементьев Б.А., Калач А.В., Гравит М.В. Сравнительный анализ требований России и США к огнестойкости строительных конструкций нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2021. Т. 30. № 5. С. 5–22. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.5-22.

References

1. Fast fabrication of a light-scattering polycarbonate with high transmittance, high haze, and excellent flame-retardant performance / Y. Duan [et al.] // *J. Appl. Polym. Sci.* 2022. Vol. 139 (43). P. 53055. DOI: 10.1002/app.53055.
2. Transparent, highly thermostable and flame retardant polycarbonate enabled by rod-like phosphorous-containing metal complex aggregates / T. Sai [et al.] // *Chemical engineering journal*. 2021. Т. 409. P. 128223. DOI: 10.1016/j.cej.2020.128223.
3. Povyshenie bezopasnosti ob"ektov neftegazovogo kompleksa putem sovershenstvovaniya ognezashchitnyh sostavov / E.V. Golovina [i dr.] // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2022. Т. 31. № 3. С. 24–33. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.03.24-33.
4. Making polycarbonate flame retardant: Flame retardant selection and calorimetric analyses / De-jia Chen [et al.] // *Polymer testing*. 2023. Vol. 117. P. 107876. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2022.107876.
5. Sovershenstvovanie metodov i sredstv ognezashchity na osnove termostojkikh mineral'nyh zapolnitelej dlya metallicheskih konstrukcij: monografiya / A.Yu. Akulov [i dr.]. Ekaterinburg: Ural'skij institut GPS MCHS Rossii, 2015. 161 s.
6. GOST R 53295–2009. Sredstva ognezashchity dlya stal'nyh konstrukcij. Obshchie trebovaniya. Metod opredeleniya ognezashchitnoj effektivnosti. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
7. GOST 9.401–2018. Metody uskorennyh ispytaniy na stojkost' k vozdejstviyu klimaticheskikh faktorov. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
8. Ocenka dopustimogo sroka ekspluatsii tonkoslojnyh ognezashchitnyh pokrytij v razlichnyh klimaticheskikh usloviyah: metodika. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2015. 38 s.
9. GOST R 53293–2009. Pozharnaya opasnost' veshchestv i materialov. Materialy, veshchestva i sredstva ognezashchity. Identifikaciya metodami termicheskogo analiza. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
10. A review of environmental occurrence, fate, and toxicity of novel brominated flame retardants / P. Xiong [et al.] // *Environmental science & technology*. 2019. Vol. 53 (23). P. 13551–13569. DOI: 10.1021/acs.est.9b03159.

11. High-performance flame-retardant polycarbonate composites: Mechanisms investigation and fire-safety evaluation systems establishment / X. Mu [et al.] // *Composites Part B: Engineering*. 2022. T. 238. P. 109873. DOI: 10.1016/j.compositesb.2022.109873.
12. Krashennnikova M.V. Tendencii i perspektivy razrabotki kompozicij vspuchivayushchihsya ogneshchitnyh pokrytij dlya povysheniya predelov ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2008. № 2. S. 36–39.
13. Bezzaponnaya O.V., Golovina E.V. Effect of mineral fillers on the heat resistance and combustibility of an intumescent fireproofing formulation on silicone base // *Russian journal of applied chemistry*. 2018. T. 91. № 1. P. 96–100.
14. Li Y.M., Hu S.L., Wang D.Y. Polymer-based ceramifiable composites for flame retardant applications: A review // *Composites communications*. 2020. T. 21. P. 100405.
15. Design and application of highly efficient flame retardants for polycarbonate combining the advantages of cyclotriphosphazene and silicone oil / J. Jiang [et al.] // *Polymers*. 2019. T. 11. № 7. P. 1155. DOI: 10.3390/polym11071155.
16. Gao Z., Ren X., Miao Z. Research advances of phosphorus flame retardants in flame retardant polycarbonate // *Chemistry*. 2021. T. 84. № 11. P. 1191–1199.
17. Eremina T., Korolchenko D. Fire protection of building constructions with the use of fire-retardant intumescent compositions // *Buildings*. 2020. Vol. 10. P. 1–14.
18. Palazzi E., Fabiano B. Analytical modelling of hydrocarbon pool fires: Conservative evaluation of flame temperature and thermal power // *Process. Saf. Environ. Prot.* 2012. № 90. P. 121–128. DOI: 10.1016/j.psep.2011.06.009.
19. Papaspyrides C.D., Kiliaris P. Polymer green flame retardants. Chapter 6: Phosphorus-based and intumescent flame retardants. Elsevier, 2014. P. 221–254. DOI: 10.1016/B978-0-444-53808-6.00006-8.
20. Eremina T.Yu., Gravit M.V., Dmitrieva Yu.N. Osobennosti i principy postroeniya receptur ogneshchitnyh vspuchivayushchihsya kompozicij na osnove epoksidnyh smol // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2012. № 7. S. 52–56.
21. Cirpici K.B., Wang Y.C., Rogers B.D. An analytical approach for predicting expansion of intumescent coating with different heating conditions // *12th International congress on advances in civil engineering*. Istanbul, Turkey, 2016. P. 1–8.
22. Klement'ev B.A., Kalach A.V., Gravit M.V. Sravnitel'nyj analiz trebovanij Rossii i SSHA k ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij neftepererabatyvayushchih i neftekhimicheskikh zavodov // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2021. T. 30. № 5. S. 5–22. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.05.5-22.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.02.2023; одобрена после рецензирования: 17.07.2023;
принята к публикации: 19.07.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.02.2023; approved after review: 17.07.2023;
accepted for publication: 19.07.2023

Информация об авторах:

Калач Андрей Владимирович, ведущий научный сотрудник учебно-научного комплекса управления комплексной безопасностью Уральского института ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), доктор химических наук, профессор, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN-код: 2584-7456

Головина Екатерина Валерьевна, заместитель начальника научно-исследовательского отдела Уральского института ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), кандидат технических наук, e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2999-0752>, SPIN-код: 9905-7628

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, SPIN-код: 7822-1555

Information about the authors:

Kalach Andrey V., leading researcher of the educational and scientific complex of integrated security management of Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia (620062, Yekaterinburg, Mira str., 22), doctor of chemical sciences, professor, e-mail: A_Kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>, SPIN: 2584-7456

Golovina Ekaterina V., deputy head of the research department of Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia (620062, Yekaterinburg, Mira str., 22), candidate of technical sciences, e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2999-0752>, SPIN: 9905-7628

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, SPIN: 7822-1555

Научная статья

УДК 51.74, 614.0.06, 614.842.6(8); DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-131-140

О МОДЕЛИРОВАНИИ КАСКАДНОГО РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ПОЖАРАХ НА ПОДЗЕМНЫХ АВТОСТОЯНКАХ

✉Таранцев Александр Алексеевич.

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

Матвеев Александр Владимирович;

Поташев Дмитрий Анатольевич;

Шкитронов Михаил Евгеньевич.

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

✉t_54@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с моделированием каскадного развития чрезвычайных ситуаций, в частности пожаров на автостоянках. Показано, что при возгорании автомобиля может пострадать как он сам, так и соседние автомобили. Показано, что ущерб от пожара может носить каскадный характер и будет обуславливаться тем, как скоро начнется тушение и восстановление нормального функционирования автостоянки, как быстро будут проведены ремонтно-восстановительные работы. Оценка вероятностей состояний автостоянки «нормальное функционирование – пожары – тушение – восстановление» проведена двумя способами – с использованием методов теории марковских процессов (с дискретным временем) и адаптированных систем массового обслуживания (с непрерывным временем). Получены аналитические выражения и приведены примеры, проведено сопоставление результатов оценки вероятностей состояний, полученных двумя способами.

Ключевые слова: аварийная ситуация, каскадное развитие, автостоянка, пожар, тушение, восстановление

Для цитирования: Таранцев А.А., Матвеев А.В., Поташев Д.А., Шкитронов М.Е. О моделировании каскадного развития чрезвычайных ситуаций при пожарах на подземных автостоянках // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 131–140. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-131-140.

Scientific article

ON MODELING THE CASCADE DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATIONS DURING FIRE IN UNDERGROUND PARKING

✉Tarantsev Alexander A.

N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences,
Saint-Petersburg, Russia.

Matveev Aleksandr V.;

Potashov Dmitriy A.;

Shkitronov Mihail E.

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

✉t_54@mail.ru

Abstract. The issues related to modeling the cascade development of emergency situations, in particular, fires in parking lots, are considered. It is shown that when a car catches fire, both it and neighboring cars can suffer. It is shown that the damage from the fire can be of a cascading nature and will be determined by how soon the extinguishing and restoration of the normal functioning of the parking lot will begin – how quickly repair and restoration work will be carried

out. The assessment of the probabilities of the parking lot conditions «normal functioning – fires – extinguishing – restoration» was carried out in two ways – using the methods of the theory of Markov processes (with discrete time) and adapted queuing systems (with continuous time). Analytical expressions are obtained and examples and comparison of the results of estimating the probabilities of states obtained in two ways are given.

Keywords: emergency, cascade development, parking, fire, extinguishing, restoration

For citation: Tarantsev A.A., Matveev A.V., Potashev D.A., Shkitronov M.E. On modeling the cascade development of emergency situations during fire in underground parking // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 131–140. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-131-140.

Введение

Пожары и чрезвычайные ситуации (ЧС) в случае запаздывания с принятием мер по их локализации и ликвидации могут носить каскадный характер, достигать больших масштабов, представлять угрозу для людей и отрицательно сказываться на функционировании пострадавших объектов.

Это в полной мере относится к автостоянкам [1], в том числе подземным (рис. 1 а). Возгорание автомобиля, если он не будет потушен автоматической установкой пожаротушения (АУП) [2] или прибывшим пожарным караулом [3], может привести к горению соседних автомобилей (рис. 1 б), быстрому росту опасных факторов пожара (ОФП) [4, 5] и угрозе жизни и здоровью водителей, пассажиров и персонала автостоянки [6]. Ремонтно-восстановительные работы после пожара (рис. 1 в) могут оказаться весьма затратными и потребовать значительное время.



Рис. 1. Подземная автостоянка (а), пожар на ней (б) и его последствия (в)

Вопросам моделирования пожаров на автостоянках посвящены труды как отечественных [7, 8], так и зарубежных авторов [9, 10]. Однако существенной сложностью является то, что такого рода пожары могут приводить к каскадному развитию чрезвычайных ситуаций, когда при распространении огня загораются несколько автомобилей [11, 12]. В этой связи представляется целесообразным проводить моделирование опасных процессов, которые могут носить каскадный характер, в частности пожаров автомобилей в подземных автостоянках.

Математические модели каскадных процессов пожара на автостоянке

Для моделирования каскадного развития пожара на автостоянке может быть применен известный математический аппарат цепей Маркова [13, 14]. Для примера будут рассмотрены три сценария возможных пожаров: когда горит один автомобиль, два автомобиля и три автомобиля, а также происходит их тушение и восстановление автостоянки для последующей эксплуатации. Графы переходов для вышеуказанных сценариев приведены на рис. 2, пояснения состояний – в табл. 1.

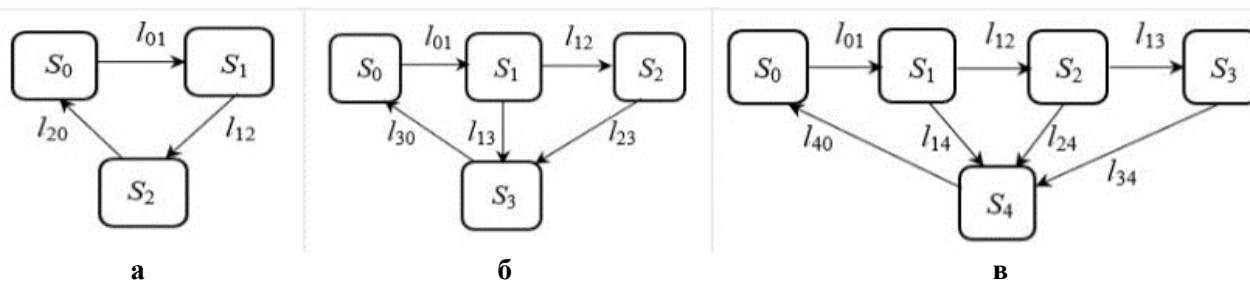


Рис. 2. Графы переходов для сценариев с тремя (а), четырьмя (б) и пятью (в) состояниями при каскадном развитии пожара на автостоянке ($\{l_{ij}\}$ – «веса» дуг)

Таблица 1

Состояния процессов при каскадном развитии пожара на автостоянке

Сценарий	Состояния	Граф переходов
1	S_0 – нормальное функционирование автостоянки; S_1 – горит один автомобиль; S_2 – тушение автомобиля и проведение аварийно-восстановительных работ	Рис. 2 а
2	S_0 – нормальное функционирование автостоянки; S_1 – горит один автомобиль; S_2 – загорелся соседний автомобиль; S_3 – тушение автомобилей и проведение аварийно-восстановительных работ	Рис. 2 б
3	S_0 – нормальное функционирование автостоянки; S_1 – горит один автомобиль; S_2 – загорелся соседний автомобиль; S_3 – загорелся другой соседний автомобиль; S_4 – тушение автомобилей и проведение аварийно-восстановительных работ	Рис. 2 в

Следует обратить внимание, что после тушения пожара необходимо проведение аварийно-восстановительных работ (анализ состояния несущих конструкций и кабельного хозяйства, удаление копоти и обломков, косметический ремонт и т.п.), то есть приведение автостоянки из состояния после пожара (рис. 1 в) в состояние нормального функционирования (рис. 1 а).

Задача исследования заключается в том, чтобы по начальным значениям вероятностей $\{P^0\}$ состояний $\{S\}$ и «весам» дуг $\{l_{ij}\}$ оценить динамику вероятностей состояний $\{P(t)\}$ и конечные состояния $\{P^k\}$ при установившихся процессах. Это позволит в итоге установить, насколько система противопожарной защиты автостоянки эффективна, и даст возможность ей устойчиво находиться в состоянии S_0 нормального функционирования либо приведет к необходимости принятия мер по повышению вероятности P_0 за счет изменения весов дуг $\{l_{ij}\}$.

Такая задача может решаться с использованием цепей Маркова как с дискретным¹, так и с непрерывным временем.

Моделирование каскадного развития пожара цепями Маркова с дискретным временем

Применение цепей Маркова с дискретным временем предполагает в качестве «весов» дуг использовать вероятности переходов, то есть $\{l_{ij}\} \rightarrow \{p_{ij}\}$, образующие матрицы переходов P , и пошаговое определение динамики вероятностей каждого i -го состояния $P_i^0 \rightarrow P_i^1 \rightarrow P_i^2 \rightarrow \dots \rightarrow P_i^k$. Данный алгоритм подробно описан в книгах [15, 16], но ввиду значительной трудоемкости реализуется компьютерными методами [17]. Основные требования к матрицам переходов P : сумма элементов в каждой строке =1, все элементы неотрицательные.

¹ Термин «цепи с дискретным временем» не вполне корректен, так как время напрямую в них не используется.

Применительно к вышеописанным сценариям (рис. 2, табл. 1) матрицы принимают вид:

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1-p_{01} & p_{01} & 0 \\ 0 & 1-p_{12} & p_{12} \\ p_{20} & 0 & 1-p_{20} \end{bmatrix}, \quad P_2 = \begin{bmatrix} 1-p_{01} & p_{01} & 0 & 0 \\ 0 & 1-p_{12}-p_{13} & p_{12} & p_{13} \\ 0 & 0 & 1-p_{23} & p_{23} \\ p_{30} & 0 & 0 & 1-p_{30} \end{bmatrix},$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 1-p_{01} & p_{01} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-p_{12}-p_{14} & p_{12} & 0 & p_{14} \\ 0 & 0 & 1-p_{23}-p_{24} & p_{23} & p_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 1-p_{34} & p_{34} \\ p_{40} & 0 & 0 & 0 & 1-p_{40} \end{bmatrix}.$$

Определение вероятностей состояний автостоянки рассмотрим на конкретных примерах.

Пример 1. Пусть при сценарии № 1 (рис. 2 а) вероятность возгорания автомобиля в подземной автостоянке за анализируемый период $p_{01}=0,01^2$, вероятность тушения $p_{12}=0,1$, вероятность восстановления автостоянки $p_{20}=0,2$, а в начальный момент автостоянка функционирует в нормальном режиме: $P_0^0=1$ (очевидно: $P_1^0 = P_2^0 = 0$).

Проведенное компьютерное моделирование пошаговым методом показало (ввиду ограниченности объема статьи протокол расчета не приводится, пример такого протокола приведен в статье [18]), что процесс возгорания – тушения – восстановления автостоянки стабилизируется на 71-м шаге, вероятности состояний принимают значения: $P_0^{71}=0,8696$; $P_1^{71}=0,0870$; $P_2^{71}=0,0434$. Это можно интерпретировать так: из 100 стоянок подобного типа ~87 будут функционировать в нормальном режиме, на ~9-и возможны пожары, а на ~4-х проводиться ремонтно-восстановительные работы.

Пример 2. Пусть при сценарии № 2 (рис. 2 б), как и ранее, $p_{01}=0,01$, вероятность тушения автомобиля $p_{13}=0,1$, вероятность перехода пожара на соседний автомобиль $p_{12}=0,2$, вероятность тушения пожара на автостоянке $p_{23}=0,05$, а вероятность восстановления автостоянки $p_{30}=0,3$. В начальный момент $P_0^0=1$, $P_1^0 = P_2^0 = P_3^0 = 0$.

Процесс возгорания – тушения – восстановления автостоянки стабилизируется позже – на 151-м шаге, вероятности состояний: $P_0^{151}=0,8333$; $P_1^{151}=0,0287$; $P_2^{151}=0,1111$; $P_3^{151}=0,0278$.

Пример 3. Пусть при сценарии № 3 (рис. 2 в), как и ранее, $p_{01}=0,01$, вероятность тушения автомобиля $p_{14}=0,1$, вероятность перехода пожара на соседний автомобиль $p_{13}=0,2$, вероятность тушения этих двух автомобилей $p_{24}=0,05$, вероятность перехода пожара на другой соседний автомобиль $p_{23}=0,3$, вероятность тушения всех трех автомобилей $p_{34}=0,03$. В начальный момент $P_0^0=1$, $P_1^0 = P_2^0 = P_3^0 = P_4^0 = 0$.

Процесс возгорания – тушения – восстановления автостоянки стабилизируется еще позже – на 203-м шаге, вероятности состояний: $P_0^{203}=0,7888$; $P_1^{203}=0,0263$; $P_2^{203}=0,0150$; $P_3^{203}=0,1502$; $P_4^{203}=0,0197$.

Тем не менее вышеописанный подход имеет недостатки: сложность определения вероятностей переходов $\{p_{ij}\}$, трудоемкость вычислений и невозможность получения результирующих аналитических выражений (хотя в работе [17] такие выражения были получены для частного случая). Это аспекты, безусловно, затрудняют применимость марковских цепей с дискретным временем.

² Величины этой и других вероятностей приняты условно.

Моделирование каскадного развития пожара цепями Маркова с непрерывным временем

В этой связи наш выдающийся математик А.Н. Колмогоров еще в 30-х гг. XX в. показал, что если существует предел:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_{ij}(t, t+\Delta t)}{\Delta t} = \lambda_{ij},$$

то можно от вероятностей переходов $\{p_{ij}\}$ перейти к интенсивностям переходов $\{\lambda_{ij}\}$, размерность которых обратная единицам времени [15]. На практике это означает переход от марковских цепей с дискретным временем к цепям с непрерывным временем t , а также, что такие цепи можно описывать системами обыкновенных дифференциальных уравнений, то есть получать в итоге прямые аналитические выражения для оценки вероятностей состояний цепи: $P_i(t, \lambda_{ij})$.

Для нашего случая в графах переходов на рис. 2 «веса» дуг $\{l_{ij}\}$ заменяются на интенсивности переходов $\{\lambda_{ij}\}$. Применительно к рассматриваемым сценариям (табл. 1) системы дифференциальных уравнений, соответствующие графам на рис. 2, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Системы дифференциальных уравнений для сценариев пожара на автостоянке

Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda_{01}P_0 + \lambda_{20}P_2,$ $\frac{dP_1}{dt} = \lambda_{01}P_0 - \lambda_{12}P_1,$ $\frac{dP_2}{dt} = -\lambda_{20}P_2 + \lambda_{12}P_1,$	$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda_{01}P_0 + \lambda_{30}P_3,$ $\frac{dP_1}{dt} = \lambda_{01}P_0 - (\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1,$ $\frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 - \lambda_{23}P_2,$ $\frac{dP_3}{dt} = \lambda_{13}P_1 + \lambda_{23}P_2 - \lambda_{30}P_3,$	$\frac{dP_0}{dt} = -\lambda_{01}P_0 + \lambda_{40}P_4,$ $\frac{dP_1}{dt} = \lambda_{01}P_0 - (\lambda_{12} + \lambda_{14})P_1,$ $\frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 - (\lambda_{23} + \lambda_{24})P_2,$ $\frac{dP_3}{dt} = \lambda_{34}P_2 - \lambda_{14}P_3,$ $\frac{dP_4}{dt} = \lambda_{14}P_1 + \lambda_{24}P_2 + \lambda_{34}P_3 - \lambda_{40}P_4,$

Решение дифференциальных уравнений, приведенных в табл. 2, при начальных условиях $P_0(0)=1, P_{i>0}(0)=0$ было получено в явном виде. В частности, для сценария № 1:

$$\begin{cases} P_0 = \left\{ 1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} [1 - \exp(-\lambda_{12}t)] + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{20}} [1 - \exp(-\lambda_{12}t)][1 - \exp(-\lambda_{20}t)] \right\}^{-1}, \\ P_1 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} [1 - \exp(-\lambda_{12}t)] P_0, \\ P_2 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{20}} [1 - \exp(-\lambda_{12}t)][1 - \exp(-\lambda_{20}t)] P_0. \end{cases}$$

Выражения для вероятностей $P_i(t), i=0, 1, 2 \dots$ состояний автостоянки при сценариях 2 и 3 также имеют экспоненциальный вид, но ввиду их громоздкости здесь не приводятся.

Однако с практической точки зрения интерес представляют установившиеся режимы в цепях, когда $dP/dt \rightarrow 0$, то есть автостоянки длительное время работают в режиме «нормальное функционирование – пожар – тушение – восстановление». При этом системы дифференциальных уравнений (табл. 2) преобразуются в системы линейных алгебраических уравнений. Выражения для вероятностей $P_i(t \rightarrow \infty), i=0, 1, 2 \dots$ состояний автостоянки имеют вид:

– для сценария № 1:

$$\begin{cases} P_0 = \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{20}}\right)^{-1}, \\ P_1 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} P_0, \\ P_2 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{20}} P_0, \end{cases} \quad (1)$$

– для сценария № 2:

$$\begin{cases} P_0 = \left[1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12} + \lambda_{13}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}}{\lambda_{23}(\lambda_{12} + \lambda_{13})} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30}}\right]^{-1}, \\ P_1 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12} + \lambda_{13}} P_0, \\ P_2 = \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}}{\lambda_{23}(\lambda_{12} + \lambda_{13})} P_0, \\ P_3 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30}} P_0, \end{cases} \quad (2)$$

– для сценария № 3:

$$\begin{cases} P_0 = \left[1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12} + \lambda_{14}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}}{(\lambda_{23} + \lambda_{24})(\lambda_{12} + \lambda_{14})} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}}{\lambda_{34}(\lambda_{23} + \lambda_{24})(\lambda_{12} + \lambda_{14})} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{40}}\right]^{-1}, \\ P_1 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12} + \lambda_{14}} P_0, \\ P_2 = \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}}{(\lambda_{23} + \lambda_{24})(\lambda_{12} + \lambda_{14})} P_0, \\ P_3 = \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}}{\lambda_{34}(\lambda_{23} + \lambda_{24})(\lambda_{12} + \lambda_{14})} P_0, \\ P_4 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{40}} P_0. \end{cases} \quad (3)$$

Нахождение вероятностей состояний автостоянки, полученных с использованием марковских цепей с непрерывным временем, рассмотрим на примерах.

Пример 4. Пусть при сценарии № 1 (рис. 2 а) возгорание автомобиля в подземной автостоянке может происходить с интенсивностью³ $\lambda_{01}=0,01$, интенсивность тушения $\lambda_{12}=0,1$, интенсивность восстановления автостоянки $\lambda_{20}=0,2$. Требуется найти вероятности состояний автостоянки при установившемся режиме работы.

Оценка вероятностей состояний автостоянки, проведенная по выражению (1), позволила получить следующий результат:

$$\begin{cases} P_0 = \left(1 + \frac{0,01}{0,1} + \frac{0,01}{0,2}\right)^{-1} \approx 0,8696, \\ P_1 = \frac{0,01}{0,1} 0,8696 \approx 0,0870, \\ P_2 = \frac{0,01}{0,2} 0,8696 \approx 0,0434. \end{cases}$$

Пример 5. Пусть при сценарии № 2 (рис. 2 б), как и ранее, $\lambda_{01}=0,01$, интенсивность тушения автомобиля $\lambda_{13}=0,1$, интенсивность перехода пожара на соседний автомобиль $\lambda_{12}=0,2$, интенсивность тушения пожара на автостоянке $\lambda_{23}=0,05$, а интенсивность

³ Величины интенсивностей приняты условно.

восстановления автостоянки $\lambda_{30}=0,3$. Как и ранее, требуется найти вероятности состояний автостоянки при установившемся режиме работы.

Оценка вероятностей состояний автостоянки, проведенная по выражению (2), позволила получить следующий результат:

$$\begin{cases} P_0 = \left[1 + \frac{0,01}{0,2 + 0,1} + \frac{0,01 \cdot 0,2}{0,05(0,2 + 0,1)} + \frac{0,01}{0,3} \right]^{-1} \approx 0,8333, \\ P_1 = \frac{0,01}{0,2 + 0,1} 0,8333 \approx 0,0278, \\ P_2 = \frac{0,01 \cdot 0,2}{0,05(0,2 + 0,1)} 0,8333 \approx 0,1111, \\ P_3 = \frac{0,01}{0,3} 0,8333 \approx 0,0278. \end{cases}$$

Пример 6. Пусть при сценарии № 3 (рис. 2 в), как и ранее, $\lambda_{01}=0,01$, интенсивность тушения автомобиля $\lambda_{14}=0,1$, интенсивность перехода пожара на соседний автомобиль $\lambda_{13}=0,2$, интенсивность тушения этих двух автомобилей $\lambda_{24}=0,05$, интенсивность перехода пожара на другой соседний автомобиль $\lambda_{23}=0,3$, интенсивность тушения всех трех автомобилей $\lambda_{34}=0,03$. Как и ранее, требуется найти вероятности состояний автостоянки при установившемся режиме работы.

Оценка вероятностей состояний автостоянки, проведенная по выражению (3), позволила получить следующий результат:

$$\begin{cases} P_0 = \left[1 + \frac{0,01}{0,2 + 0,1} + \frac{0,01 \cdot 0,2}{(0,3 + 0,05)(0,2 + 0,1)} + \frac{0,01 \cdot 0,2 \cdot 0,3}{0,03(0,3 + 0,05)(0,2 + 0,1)} + \frac{0,01}{0,4} \right]^{-1} \approx 0,7888, \\ P_1 = \frac{0,01}{0,2 + 0,1} 0,7888 \approx 0,0263, \\ P_2 = \frac{0,01 \cdot 0,2}{(0,3 + 0,05)(0,2 + 0,1)} 0,7888 \approx 0,0150, \\ P_3 = \frac{0,01 \cdot 0,2 \cdot 0,3}{0,03(0,3 + 0,05)(0,2 + 0,1)} 0,7888 \approx 0,1502, \\ P_4 = \frac{0,01}{0,4} 0,7888 \approx 0,0197. \end{cases}$$

Как видим, результаты оценок вероятностей состояния автостоянки для сценариев пожара 1–3, найденные в примерах 5–6 с использованием цепей Маркова с непрерывным временем, совпадают с аналогичными результатами, полученными в примерах 1–3, что подтверждает их правильность.

Выводы

Таким образом, в статье рассмотрены три сценария каскадного развития пожара на подземной автостоянке и получены согласующиеся оценки вероятностей состояний автостоянки двумя способами – с использованием цепей Маркова с дискретным и непрерывным временем.

В дальнейшем представляется целесообразным рассмотреть сценарии каскадного развития ситуации, когда помимо пожара на автостоянке автомобиля на жидком топливе существует риск взрыва газобаллонного автомобиля, а также загорания электромобиля [19].

Список источников

1. СП 506.1311500.2021. Стоянки автомобилей. Требования пожарной безопасности. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. СП 485.1311500. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/573004280 (дата обращения: 18.05.2023).
3. Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (с изм.): приказ МЧС России от 16 окт. 2017 г. № 444 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542610435> (дата обращения: 18.05.2023).
4. Modeling of smoke control in underground parking-garage fires / B. Alianto [et al.] // International journal of technology. 2017. Vol. 8. № 7. P. 1296–1305.
5. Performance-based fire behaviour analysis for underground parking structures / I. Heo [et al.] // International journal of urban sciences. 2016. Vol. 20. № sup1. P. 90–100. DOI: 10.1080/12265934.2016.1178165.
6. The simulation of fires in underground parking floors by fire dynamic simulator / M.W. Hsu [et al.] // Sensors & materials. 2017. Vol. 29. № 4. DOI: 10.18494/SAM.2017.1525.
7. Моделирование распространения опасных факторов пожара в многоуровневой открытой автостоянке при наличии противопожарной стены вблизи одной из сторон / А.В. Карпов [и др.] // Техносферная безопасность. 2021. № 4 (33). С. 89–100. EDN SNVCRZ.
8. Седов Д.В., Шубкин Р.Г., Никулин М.А. Прогнозная оценка последствий пожара в подземной автостоянке для соседних объектов // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2021. № 2 (2). С. 6–13. EDN LSJUTB.
9. Rajora D., Yadav B.P. Review on fire safety in car parking // Proceedings of national conference: advanced structures, materials and methodology in civil engineering (ASMMCE–2018). 2018. P. 595–598.
10. Tohir M. Z. M., Spearpoint M. Development of fire scenarios for car parking buildings using risk analysis // Fire safety science. 2014. Vol. 11. P. 944–957. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.11-944.
11. Márton T., Dederichs A., Giuliani L. Modelling of fire in an open car park // Applications of structural fire engineering. 2015. DOI: 10.14311/asfe.2015.060.
12. Markert F., Giuliani L. Hydrogen-fueled car fire spread to adjacent vehicles in car parks // International conference on hydrogen safety: conference paper. 2019.
13. Кемени Д., Снелл Д. Конечные цепи Маркова. М.: Наука, 1970. 271 с.
14. Бутырский Е.Ю., Матвеев А.В. Математическое моделирование систем и процессов. СПб.: Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего», 2022. 733 с. DOI: 10.37468/book_011222. EDN CCRIRT.
15. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.
16. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. EDN: IMLKWS.
17. Танклевский Л.Т., Зыбина О.А., Таранцев А.А. О применение марковских цепей к задачам поддержания готовности организационных и технических систем // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. 2023. № 2 (62). Т. 12. С. 26–34.
18. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Бабилов И.А. Метод управления поддержанием готовности средств противопожарной защиты с использованием марковских цепей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 60–69.
19. Krol M., Krol A. The threats related to parking electric vehicle in underground car parks // Intelligent solutions for cities and mobility of the future 17. 2022. P. 72–81. DOI: 10.1007/978-3-030-91156-0_6.

References

1. SP 506.1311500.2021. Stoyanki avtomobilej. Trebovaniya pozharnoj bezopasnosti. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
2. SP 485.1311500. Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ustanovki požarotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/573004280 (data obrashcheniya: 18.05.2023).
3. Boevoj ustav podrazdelenij pozharnoj ohrany, opredelyayushchij poryadok organizacii tusheniya požarov i provedeniya avarijno-spasatel'nyh rabot (s izm.): prikaz MCHS Rossii ot 16 okt. 2017 g. № 444 // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542610435> (data obrashcheniya: 18.05.2023).
4. Modeling of smoke control in underground parking-garage fires / B. Alianto [et al.] // *International journal of technology*. 2017. Vol. 8. № 7. P. 1296–1305.
5. Performance-based fire behaviour analysis for underground parking structures / I. Heo [et al.] // *International journal of urban sciences*. 2016. Vol. 20. № sup1. P. 90–100. DOI: 10.1080/12265934.2016.1178165.
6. The simulation of fires in underground parking floors by fire dynamic simulator / M.W. Hsu [et al.] // *Sensors & materials*. 2017. Vol. 29. № 4. DOI: 10.18494/SAM.2017.1525.
7. Modelirovanie rasprostraneniya opasnyh faktorov požara v mnogourovnevoj otkrytoj avtostoyanke pri nalichii protivopozharnoj steny vblizi odnoj iz storon / A.V. Karpov [i dr.] // *Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2021. № 4 (33). S. 89–100. EDN SNVCRZ.
8. Sedov D.V., Shubkin R.G., Nikulin M.A. Prognoznaya ocenka posledstvij požara v podzemnoj avtostoyanke dlya sosejdnih ob"ektov // *Aktual'nye problemy bezopasnosti v tekhnosfere*. 2021. № 2 (2). S. 6–13. EDN LSJUTB.
9. Rajora D., Yadav B.P. Review on fire safety in car parking // *Proceedings of national conference: advanced structures, materials and methodology in civil engineering (ASMMCE–2018)*. 2018. P. 595–598.
10. Tohir M. Z. M., Spearpoint M. Development of fire scenarios for car parking buildings using risk analysis // *Fire safety science*. 2014. Vol. 11. P. 944–957. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.11-944.
11. Márton T., Dederichs A., Giuliani L. Modelling of fire in an open car park // *Applications of structural fire engineering*. 2015. DOI: 10.14311/asfe.2015.060.
12. Markert F., Giuliani L. Hydrogen-fueled car fire spread to adjacent vehicles in car parks // *International conference on hydrogen safety: conference paper*. 2019.
13. Kemeni D., Snell D. *Konechnye cepi Markova*. M.: Nauka, 1970. 271 s.
14. Butyrskij E.Yu., Matveev A.V. *Matematicheskoe modelirovanie sistem i processov*. SPb.: Informacionnyj izdatel'skij uchebno-nauchnyj centr «Strategiya budushchego», 2022. 733 s. DOI: 10.37468/book_011222. EDN CCRIRT.
15. Ventcel' E.S. *Issledovanie operacij*. M.: Sovetskoe radio, 1972. 552 s.
16. Matveev A.V. *Metody modelirovaniya i prognozirovaniya*. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. EDN: IMLKWS.
17. Tanklevskij L.T., Zybina O.A., Tarancev A.A. O primenenie markovskih cepej k zadacham podderzhaniya gotovnosti organizacionnyh i tekhnicheskikh sistem // *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego*. 2023. № 2 (62). T. 12. S. 26–34.
18. Tanklevskij L.T., Tarancev A.A., Babikov I.A. Metod upravleniya podderzhanijem gotovnosti sredstv protivopozharnoj zashchity s ispol'zovaniem markovskih cepej // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2022. № 4. S. 60–69.
19. Krol M., Krol A. The threats related to parking electric vehicle in underground car parks // *Intelligent solutions for cities and mobility of the future* 17. 2022. P. 72–81. DOI: 10.1007/978-3-030-91156-0_6.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.08.2023; одобрена после рецензирования: 23.08.2023;
принята к публикации: 25.08.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.08.2023; approved after review: 23.08.2023;
accepted for publication: 25.08.2023

Информация об авторах

Таранцев Александр Алексеевич, заведующий лабораторией проблем безопасности транспортных систем Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (199178, Санкт-Петербург, 12-я Линия ВО, д. 13); профессор кафедры организации и пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр. д.149), e-mail: t_54@mail.ru, ResearcherID: K-2087-2018, AuthorID: 57195636448; <https://orcid.org/0000-0003-1561-2483>, SPIN-код: 1076-8133

Матвеев Александр Владимирович, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: fcvega_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>, AuthorID: 618571, SPIN-код: 5778-8832

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, <https://orcid.org/0000-0003-2190-399X>, SPIN-код: 7346-2221

Шкитронов Михаил Евгеньевич, доцент кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: shkitronov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7887-0530>, AuthorID: 560765, SPIN-код: 8488-9210

Information about authors

Tarantsev Alexander A., 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), professor of the department of fire extinguishing and emergency rescue operations of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149); honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: t_54@mail.ru, ResearcherID: K-2087-2018, AuthorID: 57195636448, <https://orcid.org/0000-0003-1561-2483>, SPIN: 1076-8133

Matveev Aleksandr V., head of the department of applied mathematics and information technology of Saint-Petersburg university 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: fcvega_10@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0778-3218>, AuthorID: 618571, SPIN: 5778-8832

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, <https://orcid.org/0000-0003-2190-399X>, SPIN: 7346-2221

Shkitronov Mikhail E., associate professor of the department of physical and chemical fundamentals of combustion and extinguishing processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of pedagogical sciences, associate professor, e-mail: shkitronov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7887-0530>, AuthorID: 560765, SPIN: 8488-9210,

Научная статья

УДК 614.844.1; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-141-148

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Сытдыков Максим Равильевич;

Бруснянин Дмитрий Владимирович;

✉ **Иванов Андрей Владимирович.**

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

✉ ***andrei-ivanov84@mail.ru***

Аннотация. Статья посвящена вопросам обеспечения безопасности сотрудников МЧС России при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ в условиях низких температур. Объектом исследования являются технические параметры боевой одежды пожарного. Целью данной работы является определение наиболее значимых технических параметров боевой одежды пожарного, влияющих на показатели надежности и защиты, при эксплуатации в условиях низких температур.

В работе проведена экспертная оценка значимости технических параметров боевой одежды пожарного при эксплуатации в условиях низких температур. На основании полученных данных выявлены наиболее значимые параметры боевой одежды пожарного, влияющие на показатели надежности и защиты в условиях низких температур.

Ключевые слова: боевая одежда пожарного, методика комплексной оценки, низкие температуры, технические параметры, экспертная оценка

Для цитирования: Сытдыков М.Р., Бруснянин Д.В., Иванов А.В. Определение значимости технических параметров специальной защитной одежды пожарного при эксплуатации в условиях низких температур методом экспертной оценки // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 141–148. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-141-148.

Scientific article

DETERMINATION OF THE SIGNIFICANCE OF THE TECHNICAL PARAMETERS OF THE SPECIAL PROTECTIVE CLOTHING OF A FIREFIGHTER DURING OPERATION AT LOW TEMPERATURES BY THE METHOD OF EXPERT EVALUATION

Sytdykov Maxim R.;

Brusyanin Dmitry V.;

✉ **Ivanov Andrey V.**

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

✉ ***andrei-ivanov84@mail.ru***

Abstract. The article is devoted to the issues of ensuring the safety of employees of EMERCOM of Russia when extinguishing fires and conducting emergency rescue operations at low temperatures. The object of the study is the technical parameters of the firefighter's combat clothing. The purpose of this work is to determine the most significant technical parameters that affect the reliability and protection indicators when operating at low temperatures.

The paper provides an expert assessment of the significance of the technical parameters of the firefighter's combat clothing during operation at low temperatures. Based on the data

obtained, the most important parameters of the firefighter's combat clothing that affect the reliability and protection indicators in low temperature conditions are identified.

Keywords: firefighter's combat clothing, integrated assessment methodology, low temperatures, technical parameters, expert assessment

For citation: Sytdykov M.R., Brusyanin D.V., Ivanov A.V. Determination of the significance of the technical parameters of the special protective clothing of a firefighter during operation at low temperatures by the method of expert evaluation // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 141–148. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-141-148.

Введение

Наиболее частыми причинами травмирования и гибели сотрудников МЧС России на территории Российской Федерации являются воздействие высоких температур и открытого огня, возникающих при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ [1]. Для защиты пожарных от данных травмирующих факторов применяется специальная защитная одежда, наиболее распространенной из которой является боевая одежда пожарного (БОП). С целью прохождения процедуры сертификации новых образцов БОП организации-производители осуществляют проведение испытаний одежды, в результате которых определяются значения таких параметров, как: время наступления критических температурных показателей и показателей защиты пожарного, а также изменений защитных свойств материалов, из которых изготовлена одежда. Данные испытания проводятся по методикам, описанным в работах [2–7] и включают в себя ряд теоретических и экспериментальных исследований. В этих исследованиях оценка проводится по таким показателям, как: значение предельной температуры подкостюмного пространства, угрожающей жизни и здоровью пожарного; время достижения предельной температуры подкостюмного пространства; изменение технических и качественных показателей материалов и тканей, используемых при изготовлении БОП; термическое разрушение элементов БОП; физиологические параметры пожарного. Система экспериментальных проверок (лабораторные, огневые полигонные и эксплуатационные) позволяет проверять БОП по показателям защиты, эргономики, надежности.

Результаты данных исследований легли в основу разработки нормативно-правовой базы [8, 9] для определения минимальных требований к техническим параметрам изделий.

Однако данные исследования не учитывают значимость влияния тех или иных технических параметров БОП на показатели надежности и защиты при эксплуатации в условиях низких температур. В связи с этим возникает необходимость определения значимости влияния таких технических параметров методом экспертной оценки.

Проведение экспертной оценки

Определение значимости влияния технических параметров БОП на показатели надежности и защиты при эксплуатации в условиях низких температур выполнено на основе мнений пяти специалистов [10], обобщенные сведения о которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сведения об экспертах, привлеченных к опросу

Занимаемая должность	Стаж работы, лет	Количество
Заместитель начальника Главного управления МЧС России по субъекту (по Государственной противопожарной службе)	23	1
Начальник отряда федеральной противопожарной службы	18	2
Заместитель начальника службы пожаротушения – начальник дежурной смены	19	1
Начальник караула пожарной части	15	1

Эксперты провели ранжирование технических параметров, определенных на основании [8], в зависимости от степени значимости их влияния на показатели надежности и защиты при эксплуатации в условиях низких температур. Каждый из экспертов проставил ранги от 1 до 15. При этом рангу 1 соответствует самый значимый параметр, рангу 15 – наименее значимый. В случае если эксперт считает параметры равноценными, то их значение определяется как среднее их суммы, первичные результаты опроса представлены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица ранжирования значимости технических параметров БОП

№ п/п	Наименование технического параметра БОП	Ранги					Сумма рангов
		№ эксперта					
		1	2	3	4	5	
1	Водонепроницаемость материалов при статическом давлении 1 000 мм вод. ст.	1	1	2	2	2,5	8,5
2	Время надевания	15	9	15	13	11,75	63,75
3	Жесткость	14	8	13	10	11,75	56,75
4	Защита от воздействия теплового потока	2	6	1	7	2,5	18,5
5	Масса	9	7	5	4	7,5	32,5
6	Морозостойкость	12	3	14	8	2,5	39,5
7	Теплопроводность, теплоизоляция подкладки	3	2	6	3	4,5	18,5
8	Устойчивость к многократному изгибу	10	15	8	14	11,75	58,75
9	Устойчивость к однократному воздействию открытого пламени	5	5	11	6	7,5	34,5
10	Устойчивость материалов к воздействию открытого пламени	4	4	9	5	4,5	26,5
11	Устойчивость материалов к воздействию температуры окружающей газовой среды до 300 °С	8	10	10	11	7,5	46,5
12	Устойчивость материалов к воздействию теплового потока 40 кВт/м ²	6	12	3	12	4,5	37,5
13	Устойчивость материалов к истиранию	11	11	4	15	11,75	52,75
14	Устойчивость материалов к контакту с нагретыми до 400 °С твердыми поверхностями	7	13	12	9	7,5	48,5
15	Цена	13	14	7	1	15	50

По матрице определены суммы рангов (значимость) каждого параметра (чем величина суммы рангов меньше, тем вариант предпочтительнее для выбора).

Для проведения дальнейшего математического анализа определена степень согласованности суждений экспертов, статистическая значимость исследования (р-уровень), а также уровень распределения суждений экспертов. Согласованность мнений экспертов оценивается по коэффициенту конкордации C , который лежит в пределах от 0 до 1 – если мнения экспертов полностью совпадают, то $C = 1$, а если имеет полный «разнобой» в мнениях экспертов, то $C = 0$. Величина C в общем случае находится по формуле:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_i^2}{E^2 \frac{N^3 - N}{12}} - E \sum_{i=1}^N T_i,$$

где $\Delta^2 = \sum_{k=1}^E r_{ki} - 0,5E \cdot (N + 1)$.

За критическое значение при расчете коэффициента конкордации, сравнивая семь и более параметров, принимается значение, равное 0,3.

Р-уровень – это оцененная мера значимости результата, указывающая на уверенность в его «истинности» («репрезентативности выборки») и являющаяся показателем надежности результата [11].

Чем выше р-уровень, тем более низкая статистическая значимость исследования. Этот показатель представляет вероятность ошибки, связанной с распространением наблюдаемого результата на всю матрицу параметров.

Для нашего исследования показатель $p \leq 0,05$ не является приемлемым пределом статистической значимости, поскольку это указывает на довольно высокую вероятность ошибки – 5 % [12].

Результаты статистической значимости на уровне $p < 0,01$ рассматриваются как статистически значимые, а результаты с уровнем $p < 0,005$ или $p < 0,001$ – как высоко значимые [12].

Для определения вышеизложенных параметров использовался программный продукт STATISTICA Automated Neural Networks (рис. 1).

Перем.	Ранговый ДА Фридмана и конкордация Кендалла (Данные)			
	Средн. ранг	Сумма Рангов	Среднее	Ст.откл.
Пер1	1,60000	8,00000	1,70000	0,670820
Пер4	3,60000	18,00000	3,70000	2,636285
Пер7	3,80000	19,00000	3,70000	1,565248
Пер10	5,40000	27,00000	5,30000	2,109502
Пер5	6,70000	33,50000	6,50000	2,000000
Пер9	7,10000	35,50000	6,90000	2,509980
Пер12	7,60000	38,00000	7,50000	4,242641
Пер6	7,80000	39,00000	7,90000	5,176872
Пер11	9,50000	47,50000	9,30000	1,483240
Пер14	9,90000	49,50000	9,70000	2,683282
Пер15	10,00000	50,00000	10,00000	5,916080
Пер13	10,70000	53,50000	10,55000	4,017151
Пер3	11,50000	57,50000	11,35000	2,395308
Пер8	11,90000	59,50000	11,75000	2,861381
Пер2	12,90000	64,50000	12,75000	2,512469

Рис. 1. Интерфейс программы STATISTICA Automated Neural Networks по оценке коэффициента конкордации и уровня статистической значимости технических параметров БОП

На рис. 2 представлена диаграмма распределения суждений экспертов, позволяющая визуально оценить степень зависимости между параметрами.

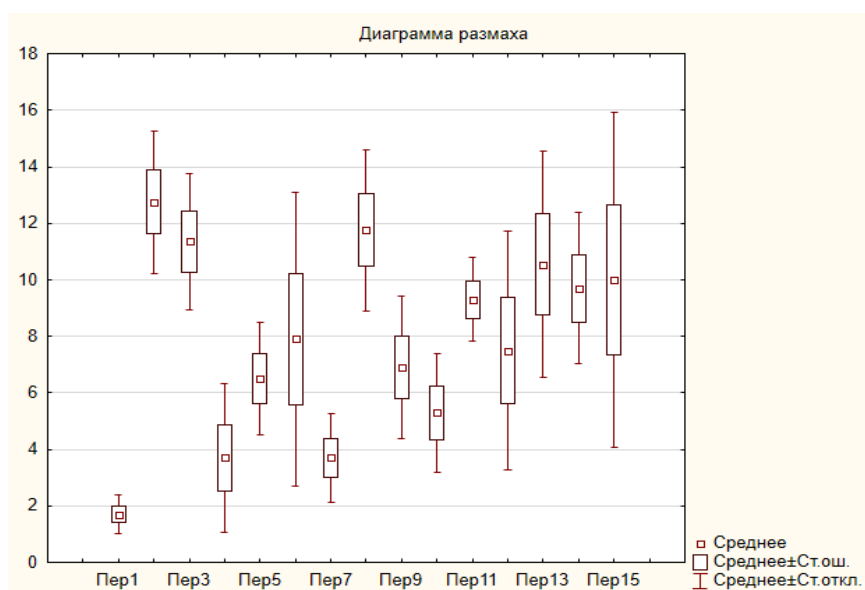


Рис. 2. Диаграмма распределения суждений экспертов

Подтвердив с помощью программного продукта STATISTICA Automated Neural Networks правильность и допустимость применения распределения суждений экспертов, степень согласованности мнений экспертов, а также статистическую значимость исследования, был проведен математический анализ полученных экспертных оценок.

Для проведения анализа полученных данных использованы методы средних арифметических и медиан рангов [13, 14]. Это сделано с целью нивелирования субъективизма при обработке исходных экспертных оценок и получения реальной действительности. Эта рекомендация подтверждается общенаучной концепцией устойчивого развития, которая предписывает использовать различные методы анализа одних и тех же данных для получения выводов, полученных одновременно всеми методами.

Результаты математического анализа вышеуказанными методами приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результат экспертной оценки значимости технических параметров БОП при эксплуатации
в условиях низких температур**

№ п/п	Наименование технического параметра	Сумма рангов	Среднее арифметическое рангов	Итоговый ранг по среднему арифметическому	Медианы рангов	Итоговый ранг по медианам	Итоговый ранг
1	Водонепроницаемость материалов при статическом давлении 1 000 мм вод. ст.	8,5	1,7	1	2	1	1
2	Время надевания	63,75	12,75	15	13	14,5	15
3	Жесткость	56,75	11,35	13	11,75	12,5	12,5
4	Защита от воздействия теплового потока	18,5	3,7	2,5	2,5	2	2
5	Масса	32,5	6,5	5	7	7	6
6	Морозостойкость	39,5	7,9	8	8	8	8
7	Теплопроводность, теплоизоляция подкладки	18,5	3,7	2,5	3	3	3
8	Устойчивость к многократному изгибу	58,75	11,75	14	11,75	12,5	14
9	Устойчивость к однократному воздействию открытого пламени	34,5	6,9	6	6	5,5	5
10	Устойчивость материалов к воздействию открытого пламени	26,5	5,3	4	4,5	4	4
11	Устойчивость материалов к воздействию температуры окружающей газовой среды до 300 °С	46,5	9,3	9	10	10	9,5
12	Устойчивость материалов к воздействию теплового потока 40 кВт/м ²	37,5	7,5	7	6	5,5	7
13	Устойчивость материалов к истиранию	52,75	10,55	12	11	11	11

№ п/п	Наименование технического параметра	Сумма рангов	Среднее арифметическое рангов	Итоговый ранг по среднему арифметическому	Медианы рангов	Итоговый ранг по медианам	Итоговый ранг
14	Устойчивость материалов к контакту с нагретыми до 400 °С твердыми поверхностями	48,5	9,7	10	9	9	9,5
15	Цена	50	10	11	13	14,5	12,5

Заключение

В результате проведенной экспертной оценки значимости технических параметров БОП при эксплуатации в условиях низких температур определены такие параметры, как: водонепроницаемость материалов при статическом давлении 1 000 мм водяного столба, защита от воздействия теплового потока; теплопроводность и теплоизоляция подкладки; устойчивость материалов к воздействию открытого пламени; устойчивость к однократному воздействию открытого пламени.

Данная оценка дает возможность более детального исследования технических параметров, влияющих на показатели надежности и защиты.

Данные исследования могут быть применимы при разработке и производстве новых образцов средств защиты пожарного, в том числе для эксплуатации в условиях низких температур, а также с целью достижения наилучших показателей защиты и надежности позволяют обратить внимание на улучшение определенных технических параметров.

Список источников

1. Анализ травматизма и гибели личного состава МЧС России за 2022 год. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-travmatizma-i-gibeli-lichnogo-sostava-mchs-rossii-za-2022-god/> (дата обращения: 23.06.2023).
2. Сорокин Д.В. Проектирование и исследование свойств теплозащитного композиционного текстильного материала для боевой одежды пожарного: автореф. дис. ... к-та техн. наук. Иваново: Ивановская. пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2021. 40 с.
3. Логинов В.И. Конструирование и комплексная оценка качества специальной защитной одежды пожарных: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: Всерос. науч.-исслед. ин-т противопожарной обороны, 2010. 48 с.
4. Кузнецов А.А. Исследование изменения защитных свойств боевой одежды пожарных при многоцикловых эксплуатационных воздействиях // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2014. № 2. С. 38–45.
5. Болибрух Б.В., Хмель М. Разработка и верификация расчетной модели теплового состояния теплозащитной одежды пожарного при различных видах испытаний // CNBOP-PIB. 2015. Vol. 38. Iss. P. 53–61.
6. Гусаров А.М., Кузнецов А.А. Оценка и прогнозирование теплозащитных свойств пакетов материалов для специальной защитной одежды пожарных: монография. Витебск: УО «ВГТУ», 2017. 174 с.
7. Влияние температурно-влажностного режима подкостюмного пространства на защитные свойства боевой одежды пожарного / Д.В. Сорокин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2018. № 2 (27). С. 12–16.
8. ГОСТ Р 53264–2019. Одежда пожарного специальная защитная. Общие технические требования. Методы испытаний. Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2019. 45 с.
9. НПБ 157–99. Боевая одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний (утв. приказом ГУГПС МВД Рос. Федерации от 12 авг. 1999 г. № 61) (в ред. от 30 дек. 2002 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

10. Рупосов В.Л. Методы определения количества экспертов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 3 (98). С. 286–292.
11. Brownlee K.A. Statistical theory and methodology in science and engineering. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1960. P. 236.
12. Климова Е.В. Методы дескриптивной статистики в анализе токсичных составляющих отработавших газов судовых дизелей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Морская техника и технология. 2010. № 2. С. 88–95.
13. Таранцев А.А., Шилин К.Ю. Методы многопараметрической оптимизации в задачах выбора решений: учеб.-метод. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России; ИПТ РАН, 2019. 31 с.
14. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учеб.: в 3-х ч. Ч. 2: Экспертные оценки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.

References

1. Analiz travmatizma i gibeli lichnogo sostava MCHS Rossii za 2022 god. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-travmatizma-i-gibeli-lichnogo-sostava-mchs-rossii-za-2022-god/> (data obrashcheniya: 23.06.2023).
2. Sorokin D.V. Proektirovanie i issledovanie svojstv teplozashchitnogo kompozicionnogo tekstil'nogo materiala dlya boevoy odezhdy pozharnogo: avtoref. dis. ... k-ta tekhn. nauk. Ivanovo: Ivanovskaya. pozh.-spas. akad. GPS MCHS Rossii, 2021. 40 s.
3. Loginov V.I. Konstruirovaniye i kompleksnaya ocenka kachestva special'noj zashchitnoj odezhdy pozharnyh: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. M.: Vseros. nauch.-issled. in-t protivopozharnoy oborony, 2010. 48 s.
4. Kuznecov A.A. Issledovanie izmeneniya zashchitnyh svojstv boevoy odezhdy pozharnyh pri mnogociklovyh ekspluatatsionnyh vozdeystviyah // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. № 2. S. 38–45.
5. Bolibrubh B.V., Hmel' M. Razrabotka i verifikatsiya raschetnoj modeli teplovogo sostoyaniya teplozashchitnoj odezhdy pozharnogo pri razlichnyh vidah ispytaniy // CNBOP-PIB. 2015. Vol. 38. Iss. P. 53–61.
6. Gusarov A.M., Kuznecov A.A. Ocenka i prognozirovaniye teplozashchitnyh svojstv paketov materialov dlya special'noj zashchitnoj odezhdy pozharnyh: monografiya. Vitebsk: UO «VGTU», 2017. 174 s.
7. Vliyanie temperaturno-vlazhnostnogo rezhima podkostyumnogo prostranstva na zashchitnye svojstva boevoy odezhdy pozharnogo / D.V. Sorokin [i dr.] // Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity. 2018. № 2 (27). S. 12–16.
8. GOST R 53264–2019. Odezhda pozharnogo special'naya zashchitnaya. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. M.: Standartinform, 2019. 45 s.
9. NPB 157–99. Boevaya odezhda pozharnogo. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy (utv. prikazom GUGPS MVD Ros. Federacii ot 12 avg. 1999 g. № 61) (red. ot 30 dek. 2002 g.). Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy «Konsul'tantPlyus».
10. Ruposov V.L. Metody opredeleniya kolichestva ekspertov // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. № 3 (98). S. 286–292.
11. Brownlee K.A. Statistical theory and methodology in science and engineering. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1960. P. 236.
12. Klimova E.V. Metody deskriptivnoj statistiki v analize toksichnyh sostavlyayushchih otrabotavshih gazov sudovyh dizelej // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2010. № 2. S. 88–95.
13. Tarancev A.A., Shilin K.Yu. Metody mnogoparametricheskoy optimizatsii v zadachah vybora resheniy: ucheb.-metod. posobie. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii; IPT RAN, 2019. 31 s.

14. Orlov A.I. Organizacionno-ekonomicheskoe modelirovanie: ucheb.: v 3-h ch. Ch. 2: Ekspertnye ocenki. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011. 486 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.07.2023; одобрена после рецензирования: 31.08.2023; принята к публикации: 01.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 05.07.2023; approved after review: 31.08.2023; accepted for publication: 01.09.2023

Сведения об авторах:

Сытдыков Максим Равильевич, начальник 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: sytdykov@igps.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>, SPIN-код: 7548-0539

Брусянин Дмитрий Владимирович, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: brusyanin@igps.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1145-8394>, SPIN-код: 3883-6067

Иванов Андрей Владимирович, преподаватель кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: andrei-ivanov84@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7886-2039>, SPIN-код: 9169-8325

Information about the authors:

Sytdykov Maxim R., head 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: sytdykov@igps.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5343-4764>, SPIN: 7548-0539

Brusyanin Dmitry V., 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, e-mail: brusyanin@igps.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1145-8394>, SPIN: 3883-6067

Ivanov Andrey V., lecturer 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), e-mail: andrei-ivanov84@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7886-2039>, SPIN: 9169-8325

Научная статья

УДК 614.842.83.07/.08; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-149-157

АНАЛИЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПРОФИЛАКТИКА ПОЖАРООПАСНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРОСЕТИ АВТОМОБИЛЯ

✉ **Моторыгин Юрий Дмитриевич;**

Топилкин Павел Сергеевич;

Литовченко Ирина Олеговна.

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

✉ fire-risk@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы исследования пожароопасных режимов работы электрической сети автомобиля. Аварийные режимы работы электрических элементов автомобиля могут привести к возникновению пожара с различной степенью вероятности в зависимости от срока эксплуатации машины и внешних воздействий. В статье предложен программный комплекс, основанный на использовании стохастических методов расчета. Это позволит получить более конкретную информацию о вероятности возникновения пожароопасного аварийного режима в электросети автомобиля в зависимости от внешних факторов и срока его эксплуатации. Предлагается использовать полученные результаты для эффективного управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электросети автомобиля. Актуальность такой информации возрастает в случае наличия автомобильных парков, где различаются степень эксплуатации, марка производителя, год выпуска и схема использования электрических элементов каждого автомобиля.

Ключевые слова: электрическая сеть автомобиля, вероятность отказа, статистика, цепи Маркова

Для цитирования: Моторыгин Ю.Д., Топилкин П.С., Литовченко И.О. Анализ возникновения и профилактика пожароопасных режимов в электросети автомобиля // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 149–157. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-149-157.

Scientific article

ANALYSIS OF THE OCCURRENCE AND PREVENTION OF FIRE-HAZARDOUS MODES IN THE CAR'S ELECTRICAL NETWORK

✉ **Motorygin Yury D.;**

Topilkin Pavel S.;

Litovchenko Irina O.

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

✉ fire-risk@mail.ru

Abstract. The issues of research of fire-hazardous modes of operation of the electric network of the car are considered. Emergency modes of operation of the electrical elements of the car can lead to a fire with varying degrees of probability, depending on the service life of the machine and external influences. The article proposes a software package based on the use of stochastic calculation methods. This will allow you to get more specific information about the likelihood of a fire-hazardous emergency mode in the vehicle's electrical network, depending on external factors and its service life. It is proposed to use the results obtained for effective management of prevention and prevention of fire-hazardous modes in the vehicle's electrical network. The relevance of such information increases in the case of car

parks, where the degree of operation, the brand of the manufacturer, the year of manufacture and the scheme of use of electrical elements of each car differ.

Keywords: electric network of the car, probability of refusal, the statistician, chain of Markova

For citation: Motorygin Yu.D., Topilkin P.S., Litovchenko I.O. Analysis of the occurrence and prevention of fire-hazardous modes in the car's electrical network // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 149–157. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-149-157.

Введение. Состояние проблемы

В материалах Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России [1] отмечается, что возникновение пожара от нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования перешло в 2023 г. на второе место после неосторожного обращения с огнем и составило 58 278 пожаров в год. За период с 2020 по 2022 г. рост пожаров на автотранспорте практически не увеличивался, и они составляли около 4,3 % от общего числа пожаров.

Оценить вероятность возникновения пожара от «плохого» контакта можно, анализируя статистическую информацию [1] по данным о возгорании одного электрического элемента в течение года. Но следует отметить, что в России для электрических сетей используется около 108 установочных элементов сети, что существенно повышает опасность возникновения аварийного режима.

Вероятность возникновения условий для пожара в отдельном элементе сети автомобиля составляет $2 \cdot 10^{-5}$ в год, что превышает нормативную величину, установленную по ГОСТ 12.1.004–91 (10^{-6} в год) [2]. Это приводит к необходимости проведения мероприятий по профилактике и надзору за электрической сетью автомобиля для обеспечения ее безопасности и надежности, а также снижения риска возгорания [3, 4].

Элементы электрической проводки проходят через все части транспортного средства и являются его важными составляющими. Однако эти элементы состоят из большого количества контактов, которые могут быть неправильно сформированы и, следовательно, недостаточно надежны. Кроме того, при работе автомобиля контакты подвергаются различным воздействиям, таким как: окружающая среда, вибрации и внешнее механическое воздействие. Эти факторы могут привести к неполадкам в работе электрической сети и даже к серьезным авариям. Надежность контактов в электрической проводке автомобиля играет важную роль в обеспечении безопасности и нормальной работы транспортного средства.

Рассмотренные воздействия на контакты сети обычно имеют случайный характер и не могут быть точно описаны детерминированными моделями. Однако количество научных работ в области исследования контактов в электросети автомобиля недостаточное. Чаще всего, анализ проводится уже после возникновения пожара, когда исследуются только оплавления, возникшие в результате аварийных режимов. При этом мало внимания уделяется рассмотрению процессов, предшествующих возникновению пожароопасного аварийного режима. Необходимо проводить более глубокие исследования, чтобы полностью изучить процессы возникновения пожарных ситуаций в электросети автомобиля и, по возможности, предотвращать их.

Основные методики оценки пожарного риска приведены в следующих работах [4, 5]. Основополагающей является идентификация опасных событий. Любой источник зажигания в электрической сети автомобиля можно рассматривать как опасность. На рис. 1 показан анализ основных аварийных процессов в электросети автомобиля.

В данной работе была поставлена цель – создать модели, которые помогут оценить вероятность возникновения аварийного режима, способного вызвать неконтролируемое горение в электросети автомобиля, в зависимости от его срока эксплуатации.



Рис. 1. Результаты анализа основных аварийных процессов в электросети автомобиля

В результате проведенного исследования в статье предлагается использовать разработанные модели при проведении пожарно-технической экспертизы, чтобы обеспечить более точные и надежные результаты.

Кроме того, такая информация может быть весьма полезна для эффективного управления мерами профилактики и предотвращения пожароопасных ситуаций в автомобильных электросетях.

Методы исследования

Исследования пожароопасных режимов в электросети автомобиля часто проводятся уже по факту пожара. При этом исследуются фрагменты элементов электропроводки с оплавлениями. На рис. 2 представлен пример такой экспертизы. Целью исследования является определение природы оплавления: это электрическое оплавление или оплавление, возникшее в результате внешнего термического воздействия. Если оплавление возникло в результате аварийного режима в электросети, то считают его первичным, если оплавление возникло в результате пожара, то – вторичным. В большинстве случаев в исследовании используются разрушающие методы.



Рис. 2. Пример эмпирического исследования аварийных режимов работы электросети автомобиля

Важным инструментом для оценки риска пожара и принятия соответствующих мер по его предотвращению являются научные модели, которые имеют дело с окончательным исходом пожара. Они позволяют учесть различные факторы, которые могут влиять на распространение огня и повреждение затронутых поверхностей. Это облегчает задачу противопожарной защиты и страхования, делая их более эффективными и надежными.

Одной из основных концепций в оценке риска пожара является детерминированная концепция. Она предполагает рассмотрение цепочки критических событий, которые могут привести к возникновению и распространению пожара. Такой подход позволяет более точно определить аварийные режимы работы электросети и принять меры по его предотвращению.

Необходимо учитывать, что оценка риска пожара не является статическим процессом. Она должна периодически обновляться с учетом изменений в условиях и ситуации. Это важно для обеспечения надежной противопожарной защиты и минимизации потенциальных угроз.

Другим подходом к анализу электросети автомобиля является рассмотрение надежности работы контактных элементов электросети транспортного средства стохастическими методами.

Недетерминированные модели пожара, основанные на теории вероятностей, позволяют более точно учесть вероятность возникновения аварийных режимов в элементах электросети автомобиля. На аварийные процессы в электропроводке автомобиля влияет множество случайных процессов. Оценка риска возникновения пожара в конкретном автомобиле является важным аспектом противопожарной защиты и страхования. Для этого существуют модели, которые занимаются оценкой возможности возникновения горения в элементах электросети автомобиля. В качестве математического аппарата предложена математическая модель, использующая Марковские цепи.

Результаты исследования и их обсуждение

В данной работе проводится анализ трех этапов работы электрической сети, которые отличаются по надежности. На каждом из этих этапов возникают свои причины пожароопасных аварийных режимов эксплуатации электрической сети автомобиля [2]. В результате проведенной декомпозиции основных характеристик отказов и причин их возникновения было выявлено несколько факторов, влияющих на надежность работы контактных элементов. Для оценки прогнозов возникновения пожароопасных аварийных режимов в электрических контактах автомобиля предложена математическая модель, использующая Марковские цепи.

Важно отметить, что при производстве автомобилей существует риск возникновения скрытых дефектов, которые могут повлиять на качество и безопасность автомобиля. Это может быть связано с использованием некачественных материалов и элементов электропроводки, а также с транспортировкой автомобиля. Неисправности могут быть как конструктивными, например неудачная компоновка, так и эксплуатационными, связанными с нарушением режимов приработки. Особенно опасны неисправности в электропроводке, которые могут привести к аварийным режимам и возникновению пожара. Поэтому первый период работы автомобиля, известный как период приработки, требует особого внимания и контроля.

Безопасность и надежность автомобиля напрямую зависят от качества его производства и правильной эксплуатации. Поэтому производители и владельцы автомобилей должны быть внимательны к любым признакам неисправностей и немедленно принимать меры для их устранения, чтобы предотвратить возможные аварии и повреждения.

Период приработки считается завершенным, когда интенсивность отказов элементов электропроводки автомобиля приближается к минимальному значению $\mu(t)_{\min}$, что соответствует гарантированному сроку эксплуатации в течение 2–3 лет [5–8].

Второй период, который наступает после завершения приработки, характеризуется повышенной интенсивностью отказов из-за износа и старения электрооборудования автомобиля. В этот период возникают необратимые физические и химические изменения, которые приводят к разрушению или частичной утрате свойств элементов электросети автомобиля, необходимых для нормального функционирования.

При этом процессы, связанные с износом, обычно являются необратимыми. К таким отказам относятся изменение диэлектрических свойств изоляции электрических проводов, возникновение сильных переходных процессов под воздействием агрессивной окружающей среды, а также механический износ деталей и другие факторы. Увеличение интенсивности отказов $\mu(t)$ приводит к увеличению продолжительности участка «кривой жизни» электросети автомобиля. Этот участок представляет собой монотонно возрастающую функцию, где крутизна зависит от качества использованных материалов и комплектующих изделий. Исследования [6, 9, 10, 11] показывают, что чем лучше материалы и комплектующие, тем меньше крутизна участка «кривой жизни», и тем дольше он продолжается.

В третьем периоде электропроводка автомобиля требует особого внимания и заботы со стороны владельца. Важно регулярно осматривать и обслуживать электрооборудование, чтобы предотвратить возможные отказы и сбои в работе системы. Возможны различные методы и технологии для пролонгации срока службы электропроводки, такие как: применение специальных защитных покрытий, использование качественных материалов и компонентов, а также правильное использование и обслуживание автомобиля.

Для автоматического анализа возникновения и профилактика пожароопасных режимов в электросети автомобиля был разработан программный комплекс. В математическом аппарате были использованы цепи Маркова.

Для проведения анализа с помощью метода Марковского моделирования необходимо определить вероятности перехода из одного состояния в другое. Метод Марковского моделирования основан на математической концепции случайных процессов, где состояние системы изменяется со временем и зависит только от настоящего состояния. Состояние электрических элементов сети автомобиля может быть определено как исправное или неисправное.

На основании результатов анализа основных аварийных процессов в электросети автомобиля, приводящих к возникновению пожара, показанных на рис. 1, предложен граф состояний (рис. 3).

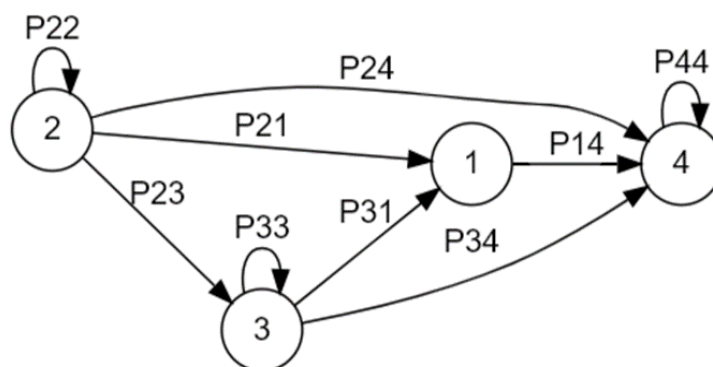


Рис. 3. Граф состояний аварийных режимов работы электросети автомобиля:
состояние 1 соответствует аварийному режиму: короткое замыкание;
состояние 2 – электрической перегрузке;
состояние 3 – большому переходному сопротивлению;
состояние 4 – возникновению пожара

Тогда матрица вероятностей перехода будет иметь следующий вид:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & P14 \\ P21 & P22 & P23 & P24 \\ P31 & 0 & P33 & P34 \\ 0 & 0 & 0 & P44 \end{pmatrix}.$$

При известных или заданных P_{ij} можно определить финальные вероятности нахождения процесса в i -м состоянии.

Заключение

В разработке программного комплекса, основанного на математических моделях, реализована возможность эффективного регулирования проведением профилактических работ на определенных участках электросети автомобиля. Предложенный программный комплекс позволяет определить период проведения и технические характеристики профилактических работ.

Таким образом, процесс планирования и проведения профилактических мероприятий будет оптимизирован и структурирован, что повысит эффективность обслуживания автомобильной электросети.

Одним из способов повышения надежности контактов является применение специальных покрытий на контактных поверхностях. Эти покрытия могут предотвратить окисление и коррозию контактов, а также снизить их износ при воздействии вибрации и механического воздействия. Кроме того, современные технологии позволяют создавать контакты с повышенной стойкостью к экстремальным условиям, таким как высокая температура или влажность.

Новые предложения:

1. Предложенный программный комплекс будет основан на современных алгоритмах и методах математического моделирования, что позволит оценивать состояние электросети и определять необходимость проведения профилактических работ.

2. Программный комплекс будет иметь гибкую настройку, позволяющую учитывать специфические особенности каждого участка электросети и предлагать оптимальные решения по проведению профилактических мероприятий.

3. Полученные результаты из математических моделей будут представлены в удобном и наглядном виде, что позволит оперативно принимать решения по проведению профилактических работ и мониторить их выполнение.

4. Кроме того, программный комплекс будет иметь возможность автоматического расчета затрат на проведение профилактических работ, что поможет оптимизировать бюджетные расходы и сократить издержки.

5. В результате внедрения данного программного комплекса ожидается значительное снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций в электросети автомобиля, а также повышение надежности и долговечности ее работы.

Программный комплекс ориентирован на организации, имеющие свой парк автомобилей. Использование результатов моделирования при обслуживании конкретного автомобиля, занесенного в электронную базу, позволит повысить надежность работы электросети автомобиля и повысить пожарную безопасность эксплуатации всего автомобильного парка [12–14].

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информ.-аналит. сб. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.

2. Моторыгин Ю.Д., Топилкин П.С. Информационная оценка оптимального управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электросети автомобиля // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 61–68.
3. Топилкин П.С., Косенко Д.В., Моторыгин Ю.Д. Использование пассивной защиты электрической сети автомобиля при возникновении больших переходных сопротивлений // Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2019: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 127–130.
4. Власова Я.А., Моторыгин Ю.Д. Оценка методов определения вероятности возникновения пожара от аварийного режима в электросети автомобиля // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 1. С. 13–17.
5. Моторыгин Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2011.
6. ГОСТ Р 51901.15–2005. Менеджмент риска. Применение марковских методов. М.: Стандартинформ, 2005.
7. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 51901.10–2009/ISO/TS 16732:2005. Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 дек. 2009 г. № 1242-ст). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
8. Методика расчета пожарных рисков на транспорте / М.И. Архипов [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 3. С. 132–139.
9. Кравцов М.Н. Пожарная опасность электро, гибридов и автомобилей // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2017. № 12.
10. Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation / V.B. Vilkov [et al.] // International journal of civil engineering and technology. 2018. Т. 9. № 1. P. 676–687.
11. Management of the formation of rating preferences of economic entities upon collective choice / Yu.D. Motorygin [et al.] // International journal of economics and financial issues. 2016. Т. 6. № 4. P. 1956–1964.
12. Моделирование процессов развития горения пожарной нагрузки с помощью конечных цепей Маркова / А.И. Подрезова [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 3. С. 176–179.
13. Моторыгин Ю.Д. Моделирование пожароопасных режимов в электросети автомобилей для принятия решения при проведении пожарно-технической экспертизы // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 9. С. 45–51.
14. Моторыгин Ю.Д., Косенко Д.В., Бибарсов Р.Ш. Модель возникновения и развития аварийных режимов в электросети автомобиля, приводящих к возникновению пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 4 (36). С. 82–85.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2022 godu: inform.-analit. sb. Balashiha: VNIPO MCHS Rossii, 2023. 80 s.
2. Motorygin Yu.D., Topilkin P.S. Informacionnaya ocenka optimal'nogo upravleniya profilaktikoj i predotvrashcheniem pozharoopasnyh rezhimov v elektroseti avtomobilya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). S. 61–68.
3. Topilkin P.S., Kosenko D.V., Motorygin Yu.D. Ispol'zovanie passivnoj zashchity elektricheskoy seti avtomobilya pri vozniknovenii bol'shih perekhodnyh soprotivlenij // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: problemy i resheniya – 2019: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2019. S. 127–130.

4. Vlasova Ya.A., Motorygin Yu.D. Ocenka metodov opredeleniya veroyatnosti vozniknoveniya pozhara ot avarijnogo rezhima v elektroseti avtomobilya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2016. № 1. S. 13–17.
5. Motorygin Yu.D. Matematicheskoe modelirovanie processov vozniknoveniya i razvitiya pozharov: monografiya / pod obshch. red. V.S. Artamonova. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2011.
6. GOST R 51901.15–2005. Menedzhment riska. Primenenie markovskih metodov. M.: Standartinform, 2005.
7. Nacional'nyj standart RF GOST R 51901.10–2009/ISO/TS 16732:2005. Menedzhment riska. Procedury upravleniya pozharnym riskom na predpriyatii (utv. prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 15 dek. 2009 g. № 1242-st). Dostup iz inf.-pravovogo portala «Garant».
8. Metodika rascheta pozharnyh riskov na transporte / M.I. Arhipov [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2014. № 3. S. 132–139.
9. Kravcov M.N. Pozharnaya opasnost' elektro, gibridov i avtomobilej // Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnologii. 2017. № 12.
10. Transportation management of facilities for rescue operations upon disaster mitigation / V.B. Vilkov [et al.] // International journal of civil engineering and technology. 2018. T. 9. № 1. P. 676–687.
11. Management of the formation of rating preferences of economic entities upon collective choice / Yu.D. Motorygin [et al.] // International journal of economics and financial issues. 2016. T. 6. № 4. P. 1956–1964.
12. Modelirovanie processov razvitiya gorenija pozharnoj nagruzki s pomoshch'yu konechnyh cepej Markova / A.I. Podrezova [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. T. 7. № 3. S. 176–179.
13. Motorygin Yu.D. Modelirovanie pozharoopasnyh rezhimov v elektroseti avtomobilej dlya prinyatiya resheniya pri provedenii pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. T. 25. № 9. S. 45–51.
14. Motorygin Yu.D., Kosenko D.V., Bibarsov R.Sh. Model' vozniknoveniya i razvitiya avarijnyh rezhimov v elektroseti avtomobilya, privodyashchih k vozniknoveniyu pozhara // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2015. № 4 (36). S. 82–85.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 14.09.2023; одобрена после рецензирования: 19.09.2023;
принята к публикации: 20.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 14.09.2023; approved after review: 19.09.2023;
accepted for publication: 20.09.2023

Информация об авторах:

Моторыгин Юрий Дмитриевич, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: fire-risk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>, SPIN-код: 3913-7751

Топилкин Павел Сергеевич, преподаватель кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: topilkin.p@igps.ru, SPIN-код: 3959-4125

Литовченко Ирина Олеговна, преподаватель кафедры трудового права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: litovchenko.irina@bk.ru, SPIN-код: 1117-1748

Information about the authors:

Motorigin Yury D., professor of the department chairs of criminalistics and technical examinations 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: fire-risk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2407-5061>, SPIN: 3913-7751

Topilkin Pavel S., lecturer of the department chairs of criminalistics and technical examinations of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: topilkin.p@igps.ru, SPIN: 3959-4125

Litovchenko Irina O., lecturer of the department of labor law of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: litovchenko.irina@bk.ru, SPIN: 1117-1748

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 656.62; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-158-168

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-238 ГМ2

Ложкина Ольга Владимировна;

✉ Мальчиков Константин Борисович.

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

✉ malchikov87@mail.ru

Аннотация. Для разработки надежных расчетных методов мониторинга и прогнозирования воздействия выбросов маломерных судов на окружающую среду в городах необходимо проведение экспериментальных исследований по оценке качественно-количественного состава отработавших газов двигателей плавсредств. Цель работы заключалась в проведении швартовых (стационарных) испытаний по замеру концентраций оксида углерода, диоксида углерода, оксидов азота и углеводородов в отработавших газах судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2, используемого в качестве силового агрегата на однопалубных туристических теплоходах, разъездных катерах и т.д., с помощью газоанализатора «Инфракар 5МЗТ.02Л». В результате было установлено, что содержание загрязняющих веществ в отработавших газах двигателя не превышало нормативно установленных значений, а полученные значения усредненных удельных выбросов для двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 хорошо коррелировали с соответствующими значениями зарубежных методик.

Ключевые слова: техносферная безопасность, однопалубные пассажирские теплоходы, маломерные суда, судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2, выбросы загрязняющих веществ

Для цитирования: Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Определение содержания поллютантов в отработавших газах судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 158–168. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-158-168.

Scientific article

DETERMINATION OF THE CONTENT OF POLLUTANTS IN THE EXHAUST EMISSIONS OF THE YAMZ-238 GM2 SHIP ENGINE

Lozhkina Olga V.;

✉ Malchikov Konstantin B.

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

✉ malchikov87@mail.ru

Abstract. In order to develop reliable calculation methods for monitoring and predicting the impact of emissions from boats on the environment in cities, it is necessary to carry out experimental studies of the exhaust emissions of boat engines. The purpose of the present study was to carry out mooring (stationary) tests to measure the concentrations of carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen oxides and hydrocarbons in the exhaust emissions of the YaMZ-238 GM2 engine used as a power unit on single-deck tourist motor ships, crew boats, etc., by means of the gas analyzer «Infracar 5M3T.02L». It was found that the content of pollutants in the exhaust emissions of the engine did not exceed standard values, and the obtained values of average specific emissions for the YaMZ-238 GM2 engine correlated well with the corresponding values of foreign methods.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Keywords: technosphere safety, single-deck passenger ships, boats; ship engine YaMZ-238 GM2, pollutants emissions

For citation: Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Determination of the content of pollutants in the exhaust emissions of the YAMZ-238 GM2 ship engine // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 158–168. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-158-168.

Введение

Выбросы маломерных судов, наряду с выбросами от автотранспортных потоков, являются значимыми источниками негативного техногенного воздействия на окружающую среду в историческом центре Санкт-Петербурга и других городах нашей страны с развитой инфраструктурой водного туризма, но проблема эта должным образом не изучена.

Анализ научных публикаций выявил, что большинство из них посвящено исследованию концентрационного состава отработавших газов (ОГ) двигательных агрегатов достаточно высокой мощности, установленных на судах смешанного (река-море) плавания [1–4], а также судовых низкооборотистых дизельных двигателей [5, 6], а исследования выбросов в атмосферу загрязняющих веществ двигательными установками однопалубных пассажирских теплоходов и маломерных судов на данное время представлены ограниченным количеством проведенных бортовых измерений [7–9].

Ранее выполненный авторами анализ [10] показал, что, в силу специфических градостроительных особенностей исторического центра Санкт-Петербурга, в городе наиболее востребованы однопалубные пассажирские теплоходы проектов типа «Фонтанка», «Мойка», «КС-100», «КС-110», и количество их ежегодно увеличивается [11], что связано с ростом туристических потоков [12].

В связи с вышесказанным целью данного исследования явился качественно-количественный инструментальный анализ состава ОГ двигателей судов однопалубных пассажирских теплоходов и маломерных судов, результаты которого будут в дальнейшем использованы для детализации расчетных методик выбросов вредных (загрязняющих) веществ от передвижных источников и совершенствования методов прогнозирования техногенного воздействия транспорта на среду обитания.

Методы исследования

В качестве объекта исследования был выбран двигатель марки ЯМЗ-238 ГМ2. Критериями выбора этой марки явились следующие факторы:

1. Согласно проведенным ранее исследованиям около 25 % однопалубных пассажирских теплоходов типа «Фонтанка», «Мойка» и т.д., эксплуатируемых в Санкт-Петербурге, оснащены двигателями этого типа [10]; а также некоторые буксирные и разездные катера.

2. Двигатели ЯМЗ-238 ГМ2 – относительно недорогие отечественные силовые агрегаты, доступные и надежные, с широкой возможностью конвертирования для различных целей, что делает их высоко востребованными в нашей стране.

3. Анализ отечественных публикаций показал, что исследования состава выбросов были выполнены для двигателя ЯМЗ-238 М2 (на их долю приходится около 6 % числа судовых двигателей однопалубных пассажирских теплоходов в Санкт-Петербурге [10]) и дизельного двигателя ЗД6 [8, 13, 14], для двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 подобные исследования не проводились.

В целом двигатели семейства ЯМЗ-238 на сегодняшний день остаются основными судовыми установками в нашей стране. Технические характеристики дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 представлены в табл. 1 [15].

Таблица 1

Основные характеристики двигателя с воспламенением от сжатия ЯМЗ-238 ГМ2 [15]

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Тип двигателя	4-тактный с воспламенением от сжатия	Диаметр и ход поршня, мм	130×140
Число, расположение цилиндров	8, V-образное	Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	1 700
Система смесеобразования	Непосредственный впрыск	Минимальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	550–650
Система охлаждения	Жидкостное (без турбонаддува)	Степень сжатия	16,5
Рабочий объем двигателя, л	14,86	Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/кВт·ч (г/л.с.·ч)	228 (168)
Номинальная мощность, кВт (л.с.)	125 (170)	Расход топлива, кг/ч	29

Бортовые испытания двигателей одноцилиндровых пассажирских теплоходов сопряжены с рядом затруднений:

1. Наличие «мокрого» отвода ОГ.
2. Расположение выхлопной трубы в корпусе судна под конструктивной ватерлинией [16, 17].
3. Их непрерывная эксплуатация в коммерческих целях в течение практически всего периода навигации.

Таким образом, представлялось целесообразным в качестве объекта исследования выбрать судно, на котором, как и на одноцилиндровом пассажирском теплоходе, установлен аналогичный дизельный двигатель марки ЯМЗ-238 ГМ2 и имеется система «сухого» отвода ОГ. К таким судам относятся некоторые из многоцелевых водометных катеров типа КС-100, 101, 102, 104, в том числе разъездной катер (теплоход) «Алдан» (построен АО «Костромской судомеханический завод (КСМЗ). Отвод ОГ у него осуществляется через два вертикальных кожуха выхлопных трубопроводов (отдельно из каждого блока цилиндров двигателя). Наличие «сухого» отвода ОГ позволяет произвести бортовые исследования состава выбросов судового двигателя. В весенний период 2023 г. двигатель разъездного катера «Алдан» прошел предусмотренное регламентное обслуживание.

На рис. 1 представлена общая схема разъездного катера КС-102, к которым относится катер «Алдан», а в табл. 2 – его основные технические характеристики. Разъездной катер «Алдан» находится в ведении Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения (СПб ГБУ) «Мостотрест».

Таблица 2

Основные технические характеристики разъездного катера «Алдан» (Санкт-Петербург)

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Проект судна	КС-102-08	Пассажировместимость, чел.	–
Дата постройки	27.01.1998	Тип главного двигателя	Дизельный
Длина габаритная, м	14,15	Марка главного двигателя	ЯМЗ-238 ГМ2
Ширина габаритная, м	3,22	Мощность главного двигателя, кВт (л.с.)	125 (170)
Водоизмещение, т	9,2	Количество главных двигателей, ед.	1
Экипаж, чел.	6	Район плавания	Внутренние водные пути

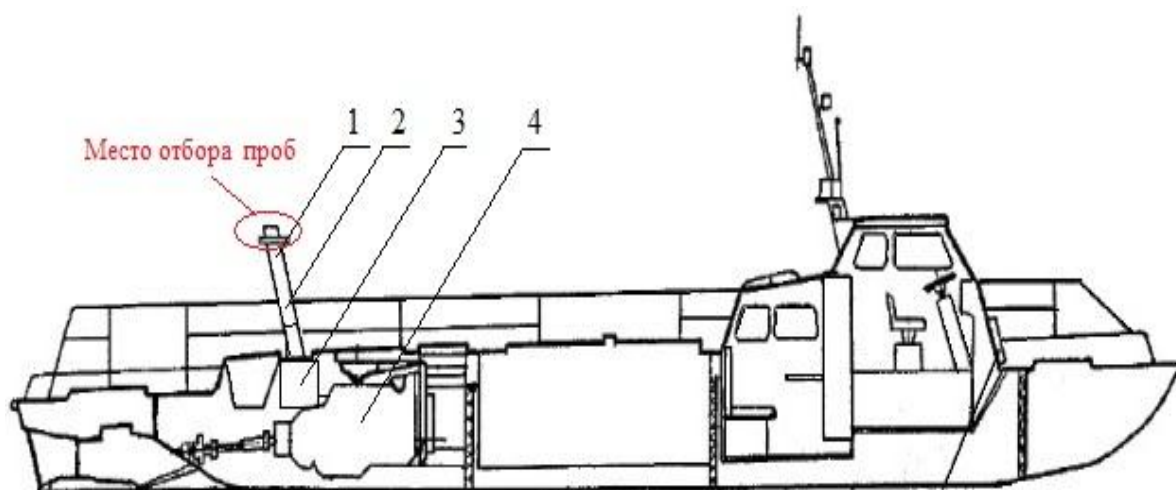


Рис. 1. Схема разъездного катера КС-102: 1 – кожух выхлопного трубопровода; 2 – инерционные глушители; 3 – объемные глушители; 4 – двигатель ЯМЗ-238 ГМ2

Для измерения концентраций поллютантов в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 использовался газоанализатор «Инфракар 5МЗТ.02Л», его технические характеристики подробно описаны в статье [17].

В соответствии с требованиями ГОСТ 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» был выбран испытательный цикл Е5 – для судов длиной менее 24 м с дизельным двигателем.

В табл. 3 представлены режимы испытательного цикла Е5. В соответствии с требованиями нормативно-технической документации измерения концентраций вредных веществ в ОГ двигателя необходимо начинать с режима полной мощности и далее последовательно приближаться к режиму минимальной нагрузки.

Таблица 3

Испытательные режимы цикла Е5 и весовые коэффициенты для судового дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 согласно ГОСТ ISO 8178-4–2013

Показатель	Номер режима испытательного цикла Е5				
	1	2	3	4	5
Частота вращения, %	100	91	80	63	Холостой ход
Частота вращения номинальная, об./мин	1 700	1 547	1 360	1 071	–
Мощность, %	100	75	50	25	0
Весовой коэффициент	0,08	0,13	0,17	0,32	0,3

Замеры концентраций загрязняющих веществ в ОГ двигателя внутреннего сгорания разъездного катера «Алдан» проводились в июне 2023 г. у служебного причала под Малоохтинским мостом Санкт-Петербурга (рис. 2). Частота вращения коленчатого вала двигателя фиксировалась по показателям штатного тахометра катера.



Рис. 2. Катер «Алдан» у служебного причала под Малоохтинским мостом (а); замер концентраций поллютантов в выбросах двигателя катера «Алдан» (б) (Санкт-Петербург, июнь 2023 г.)

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты швартовых испытаний по замеру концентраций поллютантов в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 отражены на рис. 3–6 и в табл. 4.

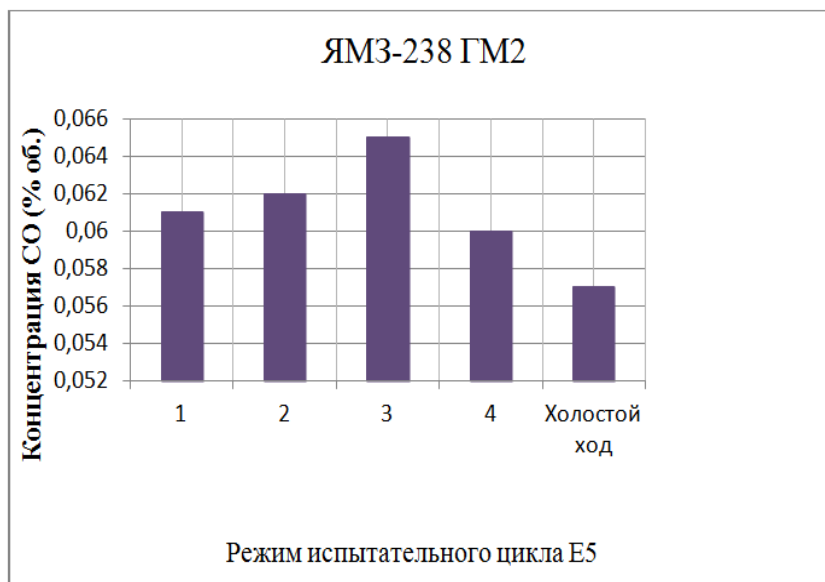


Рис. 3. Концентрация монооксида углерода CO (% об.) в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2

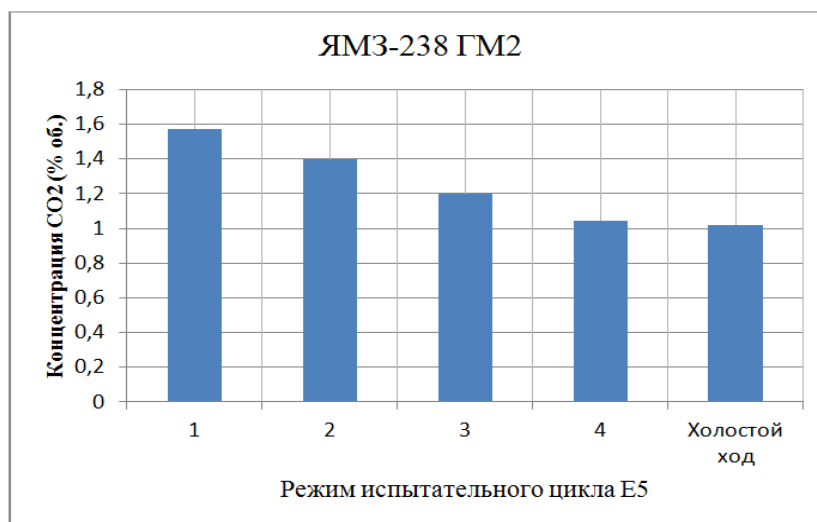


Рис. 4. Концентрация диоксида углерода CO_2 (% об.) в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2

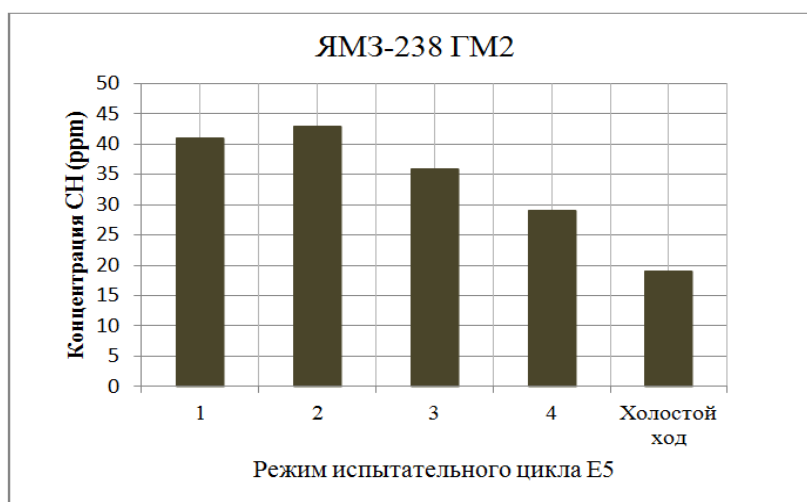


Рис. 5. Концентрация суммы углеводородов CH (ppm или млн^{-1}) в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2

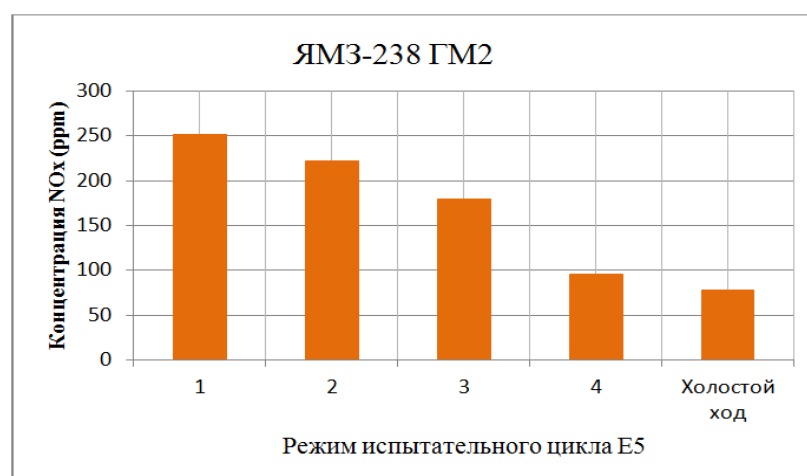


Рис. 6. Концентрация оксидов азота NO_x (ppm или млн^{-1}) в ОГ судового двигателя ЯМЗ-238 ГМ2

Таблица 4

**Содержание CO, CO₂, CH и NO_x в ОГ дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2
разъездного катера «Алдан»**

Режим испытательного цикла Е5	n _{ном} , об/мин	n _{факт} , об/мин	Содержание загрязнителей				O ₂ , % (об.)
			CO, % (об.)	CO ₂ , % (об.)	CH, ppm	NO _x , ppm	
1	1 700	1 700	0,061	1,575	41	251	18,49
2	1 547	1 500	0,062	1,400	43	222	18,80
3	1 360	1 300	0,065	1,198	36	179	19,15
4	1 071	1 050	0,060	1,047	29	96	19,36
Холостой ход	–	450	0,057	1,017	19	78	19,52

Примечание: n_{ном} и n_{факт} – соответственно номинальная и фактическая частота вращения коленчатого вала двигателя

Результаты экспериментальных исследований указывают на следующую тенденцию: выбросы оксидов азота NO_x имеют наибольшее значение на режиме максимальной нагрузки – режим 1 испытательного цикла Е5, а минимальны на 4 режиме минимальной нагрузки; выбросы углеводородов CH максимальны на режиме средней нагрузки – режим 2, а минимальны на 4 режиме минимальной нагрузки; выбросы монооксида углерода CO максимальны на режимах средней нагрузки – режимы 2 и 3, а минимальны на режиме 1 максимальной нагрузки и режиме 4 минимальной нагрузки; выбросы диоксида углерода CO₂ снижаются по мере уменьшения нагрузки. Выбросы практически всех поллютантов имеют тенденцию к снижению по мере уменьшения нагрузки.

Ввиду работы дизельных двигателей при значительном избыточном воздухе и высокой температуре сгорания смеси [18] образующиеся при их эксплуатации оксиды азота являются значимыми токсичными компонентами ОГ вне зависимости от мощности и конструктивных особенностей силовых установок [19]. Следует учитывать, что оксиды азота, участвующие в различных фотохимических превращениях в атмосфере с образованием более токсичных вторичных загрязнителей, являются одними из доминантных загрязнителей воздуха Санкт-Петербурга и многих городов нашей страны.

В целях дальнейшего использования полученных экспериментальных данных измеренные объемные концентрации этих загрязняющих веществ были приведены к размерности г/кВт·ч согласно методике, изложенной в ГОСТ 31967–2012 «Межгосударственный стандарт. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами» и Правилах предотвращения загрязнения окружающей среды с судов (утверждены приказом ФАУ «Российский Речной Регистр» от 12 октября 2015 г. № 38-П) (табл. 5).

Таблица 5

**Усредненные удельные выбросы CO, CO₂, CH и NO_x
дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 разъездного катера «Алдан»**

Режим испытательного цикла Е5	n _{ном} , об/мин	n _{факт} , об/мин	Выброс поллютанта, г/кВт·ч			
			CO	CO ₂	CH	NO _x
1	1 700	1 700	4,755	201,559	0,158	3,358
2	1 547	1 500	4,833	179,163	0,166	2,970
3	1 360	1 300	5,066	146,733	0,139	2,292
4	1 071	1 050	4,677	128,238	0,112	1,229

Полученные данные по усредненным удельным выбросам загрязняющих атмосферу веществ силовой дизельной установкой судна «Алдан» указывают, что они на всех режимах испытательного цикла Е5 не превышают значений, установленных Правилами предотвращения загрязнения окружающей среды с судов.

Следует сказать, что усредненные удельные выбросы CO, CO₂, CH и NO_x дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 согласуются с аналогичными параметрами зарубежных методик, предназначенных для расчета выбросов судовых двигателей, а именно: методики Агентства по охране окружающей среды США EPA NONROAD, Европейского агентства по окружающей среде ЕЕА ЕМЕР, Агентства Нидерландов по экологической оценке [20] (табл. 6).

Таблица 6

**Усредненные удельные выбросы дизельных судовых двигателей
зарубежных методик расчета валовых судовых выбросов [20]**

Модель	Мощность двигателя	Год выпуска двигателя	Поллютант, г/кВт·ч				Удельный расход топлива, г/кВт·ч
			CO	CO ₂	CH	NO _x	
EPA NONROAD (США)	100 < л.с. ≤ 175	–	0,95	–	0,13	3,34	124,44
ЕМЕР ЕЕА (Европейский союз)	> 50 кВт	–	5,30	–	–	8,60	275,00
NEAA (Нидерланды)	–	1995–2001	1,80	–	–	9,40	205,00

Показатель выброса CO двигателем ЯМЗ-238 ГМ2 наиболее близок к средневзвешенному значению выброса CO методики ЕМЕР ЕЕА Европейского союза (5,1 и 5,3 г/кВт·ч соответственно), показатели выбросов CH и NO_x – к средневзвешенным значениям выбросов CH и NO_x американской методики EPA NONROAD (CH: 0,16 и 0,13 г/кВт·ч соответственно; NO_x: 3,358 и 3,34 соответственно). Расхождение составило по CO – 3,8 %, по CH – 18,7 % и по NO_x – 0,6 %.

Заключение

В результате проведенных исследований впервые в нашей стране были определены концентрации токсичных примесей оксида углерода, суммы углеводородов, оксидов азота и диоксида углерода в ОГ судового дизельного двигателя ЯМЗ-238 ГМ2, находящегося в условиях реальной эксплуатации. Было установлено, что содержание поллютантов не превышает регламентированных предельно допустимых значений. Кроме того, было подтверждено, что полученные значения усредненных удельных выбросов для двигателя ЯМЗ-238 ГМ2 хорошо согласуются с соответствующими значениями методики Европейского агентства по окружающей среде ЕЕА ЕМЕР и методики NONROAD Американского агентства по охране окружающей среды.

Полученные данные в дальнейшем будут использованы при разработке методики расчетного мониторинга и прогнозирования воздействия выбросов однопалубных пассажирских теплоходов и маломерных судов на качество окружающей среды.

Авторы выражают признательность руководству Комитета имущественных отношений, Комитета по развитию транспортной инфраструктуры и Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга, начальнику участка плавсредств СПб ГБУ «Мостотрест» Сперанскому Антону Владимировичу и экипажу развозного катера «Алдан» за возможность и организацию проведения экспериментальных исследований.

Список источников

1. Туркин А.В., Кулекина Е.И., Туркин В.А. Обоснование методов снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами судовых дизелей // Эксплуатация морского транспорта. 2016. № 4 (81). С. 116–125.
2. Туркин А.В., Туркин В.А., Иванченко А.А. Применение лазерных технологий для оценки токсичности отработавших газов судовых энергетических установок // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 1-1 (39). С. 111–116.
3. Нгуен Ха Хиен. Контроль и снижение вредных выбросов в атмосферу с судов смешанного (река-море) плавания // International scientific journal for alternative energy and ecology. 2011. № 5 (97). С. 86–93.
4. Нгуен Конг Доан. Теоретический и экспериментальный анализ тепловых выбросов с отработавшими газами судовых дизелей // Вестник АГТУ. 2012. № 1. С. 117–122.
5. Результаты испытаний на токсичность и дымность отработавших газов судовых дизелей 1Ч17,5/24 и 6ЧН15/18 / М.Н. Покусаев [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 10 (90). С. 139–146.
6. Проведение натуральных испытаний по подаче диметилового эфира во всасывающий коллектор дизеля 6ЧСП15/18 на судне РК-2091 / М.Н. Покусаев [и др.] // Вестник ВГАВТ. 2018. № 58. С. 166–174.
7. Туркин А.В., Туркин В.А. Экспериментальное исследование эффективности многосекционного комплексного устройства очистки выхлопных газов судового двигателя // Вестник АГТУ. 2015. № 4. С. 79–85.
8. Хмельницкая А.А., Ильина Е.Г., Покусаев М.Н. Отчет о результатах эксперимента по оценке вредных выбросов главного двигателя маломерного судна на соответствие российским и международным экологическим требованиям // Новая наука: от идеи к результату. 2016. № 5-2 (84). С. 215–219.
9. Маломерные суда: спектр их использования и проблемы / М.Н. Покусаев [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2023. № 2. С. 47–53.
10. 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.
11. Алексанков А.М., Ковалева С.Н., Мозокина С.Л. Современное состояние и перспективы развития яхтенного туризма в Санкт-Петербурге // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2019. № 2 (116). С. 90–96.
12. Меншуткин В.В., Минина Т.Р. О развитии туризма в Санкт-Петербургской агломерации в современных условиях и сохранении природной среды // Проблемы преобразования и регулирования региональных социально-экономических систем. 2022. № 50. С. 100–112.
13. Хмельницкая А.А. Загрязнение окружающей среды выхлопными газами маломерных судов: дис. ... канд. техн. наук. Астрахань: АГТУ, 2019. 176 с.
14. Измерение экологических показателей главного двигателя судна типа «Ярославец» при работе на дизельном и печном топливах / М.Н. Покусаев [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. № 8 (81). С. 43–47.
15. Официальный интернет-портал ПАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод). URL: <https://www.ymzmotor.ru/catalog/dvigateli/ymz-v8/euro-0/ymz-238gm2/> (дата обращения: 29.05.2023).
16. Жуков В.А., Шербан С.А. Измерительные приборы для определения состава отработавших газов судовых двигателей внутреннего сгорания // Вестник АГТУ. 2020. № 2. С. 100–110.

17. 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. 127–138.

18. Влияние коэффициента избытка воздуха на расход топлива дизельными двигателями внутреннего сгорания / И.В. Карнаухова [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. № 5 (53). С. 38–42.

19. Камалтдинов В.Г., Марков В.А. Исследование образования оксидов азота в дизелях и ИССИ-двигателях // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 5 (47). С. 34–46.

20. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. К вопросу о гармонизации отечественных и зарубежных методик оценки и прогнозирования выбросов маломерных судов // Технико-технологические проблемы сервиса. 2022. № 2 (60). С. 37–43.

References

1. Turkin A.V., Kulekina E.I., Turkin V.A. Obosnovanie metodov snizheniya vybrosov vrednyh veshchestv s otrabotavshimi gazami sudovyh dizelej // Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4 (81). S. 116–125.

2. Turkin A.V., Turkin V.A., Ivanchenko A.A. Primenenie lazernykh tekhnologiy dlya ocenki toksichnosti otrabotavshih gazov sudovyh energeticheskikh ustanovok // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 1-1 (39). S. 111–116.

3. Nguen Ha Hien. Kontrol' i snizhenie vrednykh vybrosov v atmosferu s sudov smeshannogo (reka-more) plavaniya // International scientific journal for alternative energy and ecology. 2011. № 5 (97). S. 86–93.

4. Nguen Kong Doan. Teoreticheskij i eksperimental'nyj analiz teplovykh vybrosov s otrabotavshimi gazami sudovyh dizelej // Vestnik AGTU. 2012. № 1. S. 117–122.

5. Rezul'taty ispytaniy na toksichnost' i dymnost' otrabotavshih gazov sudovyh dizelej 1CH17,5/24 i 6CHN15/18 / M.N. Pokusaev [i dr.] // Al'ternativnaya energetika i ekologiya. 2010. № 10 (90). S. 139–146.

6. Provedenie naturnykh ispytaniy po podache dimetilovogo efira vo vsasyvayushchij kollektor dizelya 6CHSP15/18 na sudne RK-2091 / M.N. Pokusaev [i dr.] // Vestnik VGAVT. 2018. № 58. S. 166–174.

7. Turkin A.V., Turkin V.A. Eksperimental'noe issledovanie effektivnosti mnogosekcionnogo kompleksnogo ustrojstva ochistki vyhlopnnykh gazov sudovogo dvigatelya // Vestnik AGTU. 2015. № 4. S. 79–85.

8. Hmel'nickaya A.A., Il'ina E.G., Pokusaev M.N. Otchet o rezul'tatah eksperimenta po ocenke vrednykh vybrosov glavnogo dvigatelya malomernogo sudna na sootvetstvie rossijskim i mezhdunarodnym ekologicheskim trebovaniyam // Novaya nauka: ot idei k rezul'tatu. 2016. № 5-2 (84). S. 215–219.

9. Malomernye suda: spektr ih ispol'zovaniya i problemy / M.N. Pokusaev [i dr.] // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2023. № 2. S. 47–53.

10. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Analiz struktury flota odnopalubnykh progulochnykh teplohodov Sankt-Peterburga v kontekste kontrolya opasnogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredyu // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). S. 123–134.

11. Aleksankov A.M., Kovaleva S.N., Mozokina S.L. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya yahtennogo turizma v Sankt-Peterburge // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. 2019. № 2 (116). S. 90–96.

12. Menshutkin V.V., Minina T.R. O razvitii turizma v Sankt-Peterburgskoj aglomeracii v sovremennykh usloviyakh i sohranении prirodnoy sredy // Problemy preobrazovaniya i regulirovaniya regional'nykh social'no-ekonomicheskikh sistem. 2022. № 50. S. 100–112.

13. Hmel'nickaya A.A. Zagryaznenie okruzhayushchej sredy vyhlopnymi gazami malomernykh sudov: dis. ... kand. tekhn. nauk. Astrahan': AGTU, 2019. 176 s.

14. Izmerenie ekologicheskikh pokazatelej glavnogo dvigatelya sudna tipa «Yaroslavec» pri rabote na dizel'nom i pechnom toplivah / M.N. Pokusaev [i dr.] // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. № 8 (81). S. 43–47.

15. Oficial'nyj internet-portal PAO «Avtodizel'» (Yaroslavskij motornyj zavod). URL: <https://www.ymzmotor.ru/catalog/dvigateli/ymz-v8/euro-0/ymz-238gm2/> (data obrashcheniya: 29.05.2023).

16. Zhukov V.A., Sherban S.A. Izmeritel'nye pribory dlya opredeleniya sostava otrabotavshih gazov sudovyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya // Vestnik AGTU. 2020. № 2. S. 100–110.

17. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Metod prognozirovaniya tekhnogennyh opasnostej na osnove opredeleniya sodержaniya pollyutantov v otrabotavshih gazah lodochnyh motorov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 1 (65). S. 127–138.

18. Vliyanie koefficienta izbytkha vozduha na raskhod topliva dizel'nymi dvigatelyami vnutrennego sgoraniya / I.V. Karnauhova [i dr.] // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. № 5 (53). S. 38–42.

19. Kamaltdinov V.G., Markov V.A. Issledovanie obrazovaniya oksidov azota v dizelyah i HCCI-dvigatelyah // Transport na al'ternativnom toplive. 2015. № 5 (47). S. 34–46.

20. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. K voprosu o garmonizacii otechestvennyh i zarubezhnyh metodik ocenki i prognozirovaniya vybrosov malomernyh sudov // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2022. № 2 (60). S. 37–43.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.07.2023; одобрена после рецензирования: 17.07.2023; принята к публикации: 18.07.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.07.2023; approved after review: 17.07.2023; accepted for publication: 18.07.2023

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: oljkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>, SPIN-код: 6275-4249

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>, SPIN-код: 1309-1859

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: oljkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>, SPIN: 6275-4249

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>, SPIN: 1309-1859

Научная статья

УДК 378.016:62; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-169-180

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АМИДНОГО АЗОТА В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

✉ **Медведева Людмила Владимировна.**

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

Макарчук Галина Васильевна.

Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва, Санкт-Петербург, Россия.

Бранцевич Геннадий Владимирович.

ООО «Испытательный центр», Санкт-Петербург, Россия

✉ luvmed@mail.ru

Аннотация. В статье актуализирована экологическая проблема эмиссии аммиака в промышленных и жилых зданиях в воздушную среду помещений.

В процессе исследований установлено, что основными источниками эмиссии аммиака в воздух помещений являются бетонные конструкции (бетонные стены, перекрытия, колонны и т.п.) и отделочные материалы.

В бетоне аммиак образуется в результате гидролиза содержащейся в бетоне мочевины $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, а карбамид (мочевина) и другие подобные вещества применяются в качестве ускорителей твердения и противоморозных добавок, в том числе аммонизированная зола-унос.

Предотвратить эмиссию аммиака в воздух помещений возможно не только организацией проверки строительных материалов для выявления случаев превышения в них предельно допустимой концентрации карбамида, но и экспериментального определения концентрации амидного азота в бетонных смесях на стадии их поставок на строительные площадки.

Целью статьи является представление экспериментальной методики определения концентрации амидного азота в строительных материалах, разработанной для осуществления контроля концентрации амидного азота на стадии поставки бетонной смеси на строительные площадки с целью исключения образования аммиака после введения в эксплуатацию строительных объектов различного функционального назначения.

Экспериментальная методика определения концентрации амидного азота в строительных материалах является результатом решения следующих исследовательских задач:

- исследование строительных материалов методами физико-химического анализа на предмет количественного определения амидного азота;
- сравнение полученных результатов с данными исследовательских лабораторий с заключением о качестве выполненных анализов.

Апробация предложенной экспериментальной методики определения концентрации амидного азота в строительных материалах проведена в лаборатории испытательного центра «ООО Сэтл-Сити» в Кудрово.

Ключевые слова: экологическая безопасность, бетонные конструкции, аммиак, бетонная смесь, амидный азот, карбамид (мочевина), экспериментальная методика, строительные материалы, фотоколориметрический метод

Для цитирования: Медведева Л.В., Макаrchук Г.В., Бранцевич Г.В. Экспериментальная методика определения концентрации амидного азота в строительных материалах // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 169–180. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-169-180.

Scientific article

EXPERIMENTAL METHOD OF AMIDE NITROGEN CONCENTRATION DETERMINING IN CONSTRUCTION MATERIALS

✉ **Medvedeva Ludmila V.**

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

Makarchuk Galina V.

Military institute (engineering and technical) of Military academy of logistics named after army general A.V. Khrulev, Saint-Petersburg, Russia.

Brantsevich Gennady V.

LLC «Testing center», Saint-Petersburg, Russia

✉ **lavlmed@mail.ru**

Abstract. The article actualizes the environmental problem of ammonia emission in industrial and residential buildings into the indoor air environment.

In the process of studies it has been established that the main sources of ammonia emission into the indoor air are concrete structures (concrete walls, ceilings, columns, etc.) and finishing materials.

In concrete, ammonia is formed as a result of hydrolysis of urea $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ contained in concrete, and urea (urea) and other similar substances are used as hardening gas pedals and anti-freeze additives, including ammonized fly ash.

It is possible to prevent ammonia emission into the indoor air not only by checking construction materials for cases of exceeding the maximum permissible concentration of urea in them, but also by experimental determination of amide nitrogen concentration in concrete mixtures at the stage of their delivery to construction sites.

The aim of the article is to present an experimental technique to determine amide nitrogen concentration in construction materials developed to control amide nitrogen concentration at the stage of concrete mixture delivery to construction sites to exclude ammonia formation after putting construction sites of different functional purposes into operation.

Experimental method for determining the concentration of amide nitrogen in building materials is the result of solving the following research tasks:

- examination of building materials by methods of physical and chemical analysis for the quantitative determination of amide nitrogen;
- comparison of the obtained results with the data of research laboratories with the conclusions about the quality of performed analyses.

Approbation of the proposed experimental method for determining the concentration of amide nitrogen in building materials was carried out in the laboratory of the test center «ООО«Settle City» in Kudrovo.

Keywords: environmental safety, concrete structures, ammonia, concrete mixture, amide nitrogen, urea (urea), experimental technique, building materials, photolorimetric method

For citation: Medvedeva L.V., Makarchuk G.V., Brantsevich G.V. Experimental method of amide nitrogen concentration determining in construction materials // Problemy upravleniyariskami v tekhnosfere = Problemsof risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 169–180. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-169-180.

Введение

При систематическом воздействии на человека малых доз газообразного аммиака возникает аккумуляционный эффект в интоксикации организма и, как следствие, развитие хронических патологий и инвалидностей. Основными симптомами интоксикации в результате непрерывного воздействия малых доз газообразного аммиака являются: угнетение системы иммунитета и кроветворения, головные боли, нарушение обмена веществ, понижение артериального давления, неврастения, хронические воспалительные заболевания верхних дыхательных путей и др.

При строительстве зданий, предназначенных для постоянного или временного пребывания людей, производстве бетонных конструкций этих зданий контроль количественного содержания амидного азота в бетонных смесях и строительных материалах является чрезвычайно актуальной задачей обеспечения экологической безопасности строительных конструкций различного функционального назначения [1–3].

Цель статьи – представить экспериментальную методику определения концентрации амидного азота в строительных материалах, разработанную для осуществления контроля концентрации амидного азота на стадии поставки бетонной смеси на строительные площадки с целью исключения образования аммиака после введения в эксплуатацию строительных объектов различного функционального назначения.

Методы исследования

Для разработки экспериментальной методики определения концентрации амидного азота в бетонной смеси системно проанализированы [4, 5]:

– методики определения амидного азота с диметилглиоксимом (патент 2093817);
п-диметиламинобензальдегидом (Всероссийский научно-исследовательский институт им. Менделеева (ВНИИ им. Д.М. Менделеева) [6];

– спектрофотокolorиметрический метод определения и расчета массовой доли азота в амидной форме в сложных минеральных удобрениях [7, 8];

– спектрометрический метод определения массовой доли мочевины в кормах, комбикормах и комбикормовом сырье, включающий в себя нормативно установленную последовательность этапов [9]:

а) в присутствии обесцвечивающего средства приготовление суспензии из воды и навески испытуемой пробы;

б) перемешивание полученной суспензии;

в) фильтрование суспензии (получение фильтрата);

г) добавление 4-диметиламинобензальдегида к фильтрату;

д) измерение с помощью спектрометра поглощающей способности полученного раствора при длине волны 420 нм;

– методика определения массовой доли карбамида в комбикормах, белково-витаминных добавках и карбамидном концентрате, включающая в себя нормативно установленную последовательность следующих этапов [10]:

а) экстракция карбамида водой;

б) получение окрашенных растворов при взаимодействии с диметиламинобензальдегидом;

в) колориметрирование окрашенных растворов;

– методика количественного химического анализа проб питьевых, природных и сточных вод с целью нормативных измерений массовой концентрации мочевины фотометрическим методом с п-диметиламинобензальдегидом [11];

– фотометрический метод определения мочевины в природных водах с использованием в качестве реагента п-диметиламинобензальдегида. Метод основан на фотометрировании растворов, содержащих комплекс амидного азота с п-диметиламинобензальдегидом ($C_9H_{10}O$).

Экспериментально подтверждена надежность определения в речной воде 10 мг/л мочевины в объеме аликвотной части 10 мл [12];

– фотометрический метод определения карбамидов в бетонных смесях, использованный для разработки экспрессной фотометрической методики определения карбамидов в бетонных смесях в режиме «on-site», которая обеспечивает диапазон определяемых концентраций от 20 до 200 мг/кг в пересчете на мочевины с пределом обнаружения 6 мг/кг при массе пробы 20 гр. Исследовано влияние времени извлечения карбамидов из бетонной смеси на величину оптической плотности и определено оптимальное время извлечения карбамидов (1 мин). Получены зависимости: оптической плотности раствора продукта взаимодействия карбамида с *n*-диметиламинобензальдегидом от его концентрации; оптической плотности раствора аналитической формы от времени извлечения карбамидов из бетонной смеси (масса навески 20 г) [13–15].

Фотоколориметрический метод анализа природы и концентрации вещества основан на зависимости коэффициента поглощения света (немонохроматического излучения) от интенсивности окраски растворов в видимой области спектра (бесцветные соединения окрашивают различными реактивами).

Визуальные (колориметрические) и фотоэлектрические методы фотоколориметрического анализа различаются способами измерения концентрации веществ в окрашенных растворах.

Колориметрический метод основан на сравнении интенсивности окраски стандартных растворов с известной концентрацией вещества с интенсивностью окраски исследуемых растворов, в которых концентрация вещества неизвестна.

В аналитической химии в диапазонах ультрафиолетового излучения и видимого света для расчета молярной концентрации окрашенного вещества используют зависимость интенсивности световой волны от молярной концентрации окрашенного вещества в растворе.

Отношение интенсивности света, прошедшего через образец (*I*) к интенсивности света, падающего на образец (*I*₀), называют пропусканием (*T*), а натуральный логарифм пропускания с обратным знаком определяет величину оптической плотности (*D*):

$$T = \frac{I}{I_0}; D = -\lg \frac{I}{I_0} = -\lg T.$$

По закону Бугера–Ламберта–Бера оптическая плотность прямо пропорциональна и равна произведению коэффициента поглощения света (ϵ), длины оптического пути (толщины светопоглощающего раствора) (*l*) и молярной концентрации окрашенного вещества (*c*):

$$D = \epsilon \cdot c \cdot l.$$

Следует отметить, что коэффициент поглощения света (ϵ), который зависит от природы растворенного вещества, называют в аналитической химии молярным коэффициентом.

Измерение оптической плотности *D* с помощью спектрофотометров в диапазонах ультрафиолетового излучения и видимого света при известной толщине светопоглощающего слоя (*l*) и молярном коэффициенте (ϵ) позволяет рассчитать искомую молярную концентрацию (*c*) поглощающего окрашенного вещества.

В абсорбционной спектроскопии в диапазонах ультрафиолетового излучения и видимого света в качестве образцов используют разбавленные растворы. Для получения достоверных результатов измеряемая оптическая плотность должна находиться в диапазоне 0,01 ... 2. При толщине поглощающего слоя в 1 см это соответствует концентрации 10⁻⁸ М, что в 1 000 раз ниже, чем при титровании. Обычно в рабочей области (области линейности) измерений концентрация может изменяться по меньшей мере в 100 раз.

Влияние растворителя (матрицы) исключают путем селективного подбора длины волны, при которой поглощательная способность вещества достигает максимума. С помощью измерений оптической плотности определяют не только концентрацию анализируемого вещества, но и скорости реакций, так как измерения оптической плотности с помощью спектрофотометров и фотоколориметров непродолжительны.

Следует отметить ряд существенных отличий использования фотоколориметра для измерения оптической плотности D с целью расчета молярной концентрации (c) поглощающего окрашенного вещества.

В спектрофотометрах используют монохроматическое излучение, в фотоколориметрах – видимый свет. Это значит, что в отличие от спектрофотометров измерения проводятся в узком диапазоне спектра, то есть в полихроматическом свете, лучи которого формируются специальными светофильтрами. Это позволяет определять концентрации компонентов раствора, так как каждая компонента раствора поглощает световые волны определенной длины волны. При этом чем выше концентрация светопоглощающего вещества, тем выше коэффициент поглощения.

Как правило, на практике фотоколориметры используются для измерения оптической плотности растворов в диапазоне 315–630 нм. Результаты измерений, полученные на исследуемых растворах, сравнивают с результатами измерений, полученных на стандартных растворах, представленных на градуировочных (калибровочных) графиках.

Градуировочный график (градуировочная кривая) представляет зависимость значений оптической плотности (ось ординат) от известных концентраций растворов стандартного образца данного вещества (ось абсцисс). Для построения градуировочного графика измеряют оптические плотности всех растворов с известными концентрациями.

Следует отметить, что для стандартных образцов при построении градуировочного графика и исследуемых образцов с неизвестной концентрацией необходимо для каждого раствора использовать одну и ту же кювету и включать для определения оптической плотности один и тот же светофильтр. По измеренному значению оптической плотности в исследуемом образце по градуировочной кривой находят искомую концентрацию. Периодически необходимо осуществлять поверку градуировочной кривой.

Результаты исследований и их обсуждение

В проведенном исследовании были поставлены следующие задачи:

- исследование строительных материалов методами физико-химического анализа на предмет количественного определения амидного азота;
- сравнение полученных результатов с данными исследовательских лабораторий с заключением о качестве выполненных анализов.

Было проведено изучение и анализ существующих методик определения амидного азота с:

- диметилглиоксимом (патент 2093817) [1];
- *n*-диметиламинобензальдегидом (ВНИИ им. Д.М. Менделеева).

Определение амидного азота с диметилглиоксимом в бетонных смесях оказалось невозможным, так как получается нестабильная окраска, при этом также используется кипячение и концентрированная серная кислота, что опасно с точки зрения техники безопасности.

Определение амидного азота с *n*-диметиламинобензальдегидом показало стабильные результаты. Разработанная методика определения массы мочевины в бетоне основана на образовании комплексного соединения желтого цвета при добавлении к раствору, содержащему амидный азот, кислого раствора *n*-диметиламинобензальдегида ($C_9H_{10}O$) и на фотометрическом определении концентрации данного комплекса.

Разработанный метод включает в себя четыре этапа:

1) *Первый этап: приготовление растворов.*

– п-диметиламинобензальдегида. Навеска вещества растворяется в концентрированной соляной кислоте (HCl), после чего с добавлением дистиллированной воды получается раствор необходимой концентрации. Раствор может храниться в течение одного месяца;

- растворов HCl необходимой концентрации;
- основного раствора карбамида;
- рабочего раствора карбамида (для кислотной экстракции);
- рабочего раствора карбамида (для водной экстракции).

2) *Второй этап: построение градуировочного графика.*

Измеряются оптические плотности градуировочных растворов относительно раствора сравнения на спектрофотометре при длине волны 440 нм в кювете с толщиной светопоглощающего слоя, равной 10 мм.

Градуировочный график устанавливает зависимость оптической плотности (ось ординат) от концентрации карбамида (мг/дм³) (ось абсцисс). Контроль стабильности градуировочной характеристики проводится при приготовлении нового раствора п-диметиламинобензальдегида.

3) *Третий этап: проведение анализа.*

Исследовались следующие строительные материалы:

- цемент;
- бетон;
- клей;
- штукатурка;
- бетонный раствор (жидкий);
- кладочный раствор (сухой);
- кладочный раствор (жидкий);
- стяжка (жидкая);
- стяжка сухая.

В ходе исследования установлены:

- масса строительного материала, необходимая для проведения анализа;
- оптимальный экстрагент: раствор соляной кислоты определенной концентрации или вода;
- количество экстрагента, которое необходимо добавить к навеске строительного материала;
- оптимальное время экстрагирования (время, необходимое для наиболее полной вытяжки соединений, содержащих амидный азот).

При проведении анализа к навеске испытуемого строительного материала соответствующей массой добавляется экстрагент: дистиллированная вода или раствор соляной кислоты (табл. 1).

Таблица 1

Строительный материал	Масса навески, г	Экстрагент	Количество экстрагента, см ³
Цемент	10	Вода	20
Бетон	10 (без щебня) Предварительно измельчить	Раствор соляной кислоты HCl определенной концентрации	50
Клей	10	Вода	50
Штукатурка	10	Вода	50
Бетонный раствор (жидкий)	20	Вода	20
Кладочный раствор (жидкий)	20	Вода	20
Стяжка (жидкая)	20	Вода	20
Кладочный раствор (сухой)	10	Раствор соляной кислоты HCl	50
Стяжка (сухая)	10	Раствор соляной кислоты HCl	50

После экстрагирования проба фильтруется через бумажный фильтр обеззоленный (синяя лента) в мерные пробирки.

Экспериментально установленные зависимости содержания мочевины в образцах цемента в зависимости от времени фотоколориметрирования представлены в табл. 2, 3 на рис. 1, 2.

Таблица 2

Зависимость концентрации мочевины (мг/кг) в цементе Литовский 500 (партия 1) от времени фотоколориметрирования

Время, с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Оптическая плотность, 1 ряд	62,97	74,27	82,35	87,19	90,42	95,26	93,65	95,26	93,65	92,04
Оптическая плотность, 2 ряд	61,35	74,27	80,73	85,58	88,8	92,04	93,65	93,65	92,04	–

Таблица 3

Зависимость концентрации мочевины (мг/кг) в цементе (Савино) от времени фотоколориметрирования

Время, с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Оптическая плотность, 1 ряд	41,98	40,36	40,36	38,75	38,75	37,14	–	–	–	–	–
Оптическая плотность, 2 ряд	40,36	40,36	38,75	38,75	35,52	35,52	33,9	33,9	33,9	33,9	32,29
Оптическая плотность, 3 ряд	38,75	37,14	35,52	33,9	–	–	–	–	–	–	–
Оптическая плотность, среднее	40,363	39,287	38,21	37,13	–	–	–	–	–	–	–

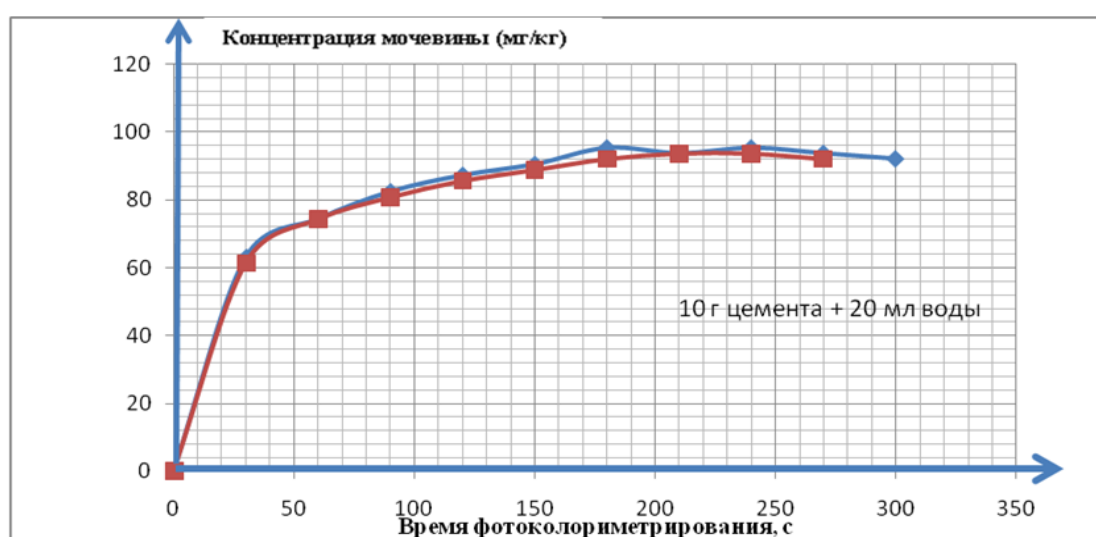


Рис. 1. График зависимости содержания мочевины в цементе Литовский 500 от времени фотоколориметрирования

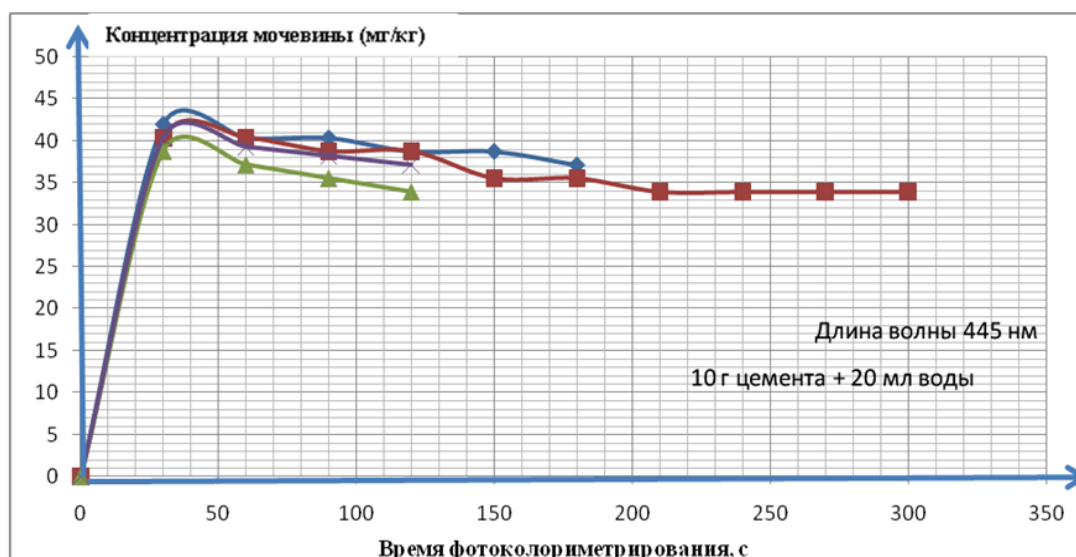


Рис. 2. График зависимости содержания мочевины в цементе (Савино) от времени фотоколориметрирования

Для клея, штукатурки, бетонного раствора (жидкого), кладочного раствора и стяжки экстрагентом была определена вода. Определено оптимальное время фотометрирования образцов: 60 с. При анализе некоторых образцов цемента оптическая плотность увеличивается во времени (время фотометрирования может достигать 15 мин). В этом случае в качестве показателя рекомендовано брать максимальное значение оптической плотности. Если в течение ≈ 1 мин оптическая плотность не увеличивается, то производят следующее измерение.

К пробе полученного фильтрата добавляется раствор п-диметиламинобензальдегида. Через 30 с в кювете со светопоглощающим слоем, равным 10 мм, при длине волны 440 нм проводят измерение оптической плотности (A) полученных растворов на спектрофотометре. Измерение проводят относительно раствора сравнения.

По градуировочному графику определяют концентрацию мочевины (C , мг/дм³), которой соответствует измеренная оптическая плотность.

Если фильтрат заметно окрашен или слегка опалесцирует, то дополнительно проводят измерение собственной оптической плотности фильтрата A_{ϕ} относительно раствора сравнения.

Значение оптической плотности A_x , соответствующее концентрации карбамида в пробе, равно:

$$A_x = A - A_{\phi},$$

где A – значение оптической плотности анализируемой пробы, в которую добавлен раствор п-диметиламинобензальдегида; A_{ϕ} – значение собственной оптической плотности фильтрата.

Оптическую плотность определяют не менее двух раз. По полученной оптической плотности, используя градуировочный график, определяется концентрация мочевины C (мг/дм³), соответствующую полученному значению оптической плотности A_x .

Если количество карбамида, найденное по калибровочному графику C (мг), то массу карбамида в строительном материале (мг/кг) можно определить из соотношения:

$$X = \frac{C * V}{m},$$

где V – объем экстрагента, см³; m – масса навески, г.

4) *Четвертый этап. Установление соответствия содержания амидного азота допускаемой норме.*

В случае превышения концентрации амидного азота в строительном материале составляется акт о несоответствии качества строительного материала технологическому регламенту организации производства работ.

Таблица 4

Нормы содержания амидного азота в строительных материалах

Строительный материал	ПДК амидного азота (в перерасчете на мочевины), мг/кг
Цемент	40
Бетон	130
Клей	80
Штукатурка	80
Бетонный раствор (жидкий)	20
Кладочный раствор (сухой)	130
Кладочный раствор (жидкий)	80
Стяжка (жидкая)	80
Стяжка сухая	130

Заключение

Произведено исследование оптимальных условий эксперимента по определению амидного азота с п-диметиламинобензальдегидом в различных образцах (экстрагент: вода или раствор соляной кислоты; температура; концентрация экстрагента; время экстрагирования; время фотометрирования; количество пробы; длина волны; концентрация растворов; рН; поставщик реагентов). В качестве экстрагента для бетона выбран раствор соляной кислоты, для цемента и бетонной смеси – дистиллированная вода. Апробация метода была произведена в лаборатории испытательного центра «ООО Сэтл-Сити» в Кудрово.

Для выявления концентрации мочевины подрядчик обязан до начала бетонирования представлять в испытательный центр контрольные пробы бетонной смеси.

В случае превышения концентрации амидного азота в строительном материале составляется акт о несоответствии качества строительного материала технологическому регламенту организации производства работ.

Список источников

1. СанПин 2.1.2.729–99. Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/1200003940 (дата обращения: 28.06.2023).

2. ГН 21.6.1338–03. ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, определение миграции аммиака в воздушную среду // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/901865554 (дата обращения: 28.06.2023).

3. ГН 2.1.61338–03. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru/document/556185926 (дата обращения: 28.06.2023).

4. Чакчир Б.А., Алексеева Г.Н. Фотометрические методы анализа: методические указания. СПб.: СПХФА, 2002. 44 с.

5. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам. Л., 1986. С. 245.
6. Определение концентрации аммиака, выделяющего из бетона в воздушную среду. URL: <https://findpatent.ru/patent/214/2145949.html> (дата обращения: 15.06.2023).
7. Способ фотометрического определения мочевины и ее производных: пат. Рос. Федерация RU 2093817C1: МПК G01N 21/78 / Бедняк А.Е., Павлова В.М., Гриднев Ю.С., Яцевич О.В.; патентообладатель Хабаровский государственный медицинский институт; заявл. 23.03.1993; опублик. 20.10.1997.
8. ГОСТ 30181.5–94. Удобрения минеральные метод определения массовой доли амидного азота в сложных удобрениях (спектрофотокolorиметрический метод). Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. URL: protect.gost.ru (дата обращения: 15.06.2023).
9. ГОСТ Р 51422–99. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения массовой доли мочевины // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: [docs.cntd.ru>document/1200028426](http://docs.cntd.ru/document/1200028426) (дата обращения: 15.06.2023).
10. ГОСТ 29113–91. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Дата введения. Метод определения массовой доли мочевины // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: [docs.cntd.ru>document/1200024399](http://docs.cntd.ru/document/1200024399) (дата обращения: 15.06.2023).
11. ПНД Ф 14.1:2:3:4.155–99. Количественный химический анализ вод: методика определения содержания мочевины в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом. М., 2014.
12. Басова Е.М., Буланова М.А., Иванов В.М. Фотометрическое определение мочевины в природных водах // Вестник Московского университета. Сер.: 2. Химия. 2011. Т. 52. № 6. С. 419–425.
13. Коковкина Т.К. Применение фотоколориметрического метода анализа для измерения концентрации исследуемого вещества на примере колориметра «КФК-2МП» // Радиоэлектроника, проблемы и перспективы развития: Четвертая Всерос. молодежная науч. конф., посвященная Дню Радио. Тамбов, 2019. С. 256–258.
14. Фотометрическое определение карбамидов в бетонных смесях / А.В. Булатов [и др.] // Аналитика и контроль. 2012. Т. 16. № 3. С. 281–284.
15. НД 01.11.32. Методика измерений массовой доли амидного азота в строительных материалах // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: docs.cntd.ru (дата обращения: 15.06.2023).

References

1. SanPin 2.1.2.729–99. Polimernye i polimersoderzhashchie stroitel'nye materialy, izdeliya i konstrukcii. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: [docs.cntd.ru>document/1200003940](http://docs.cntd.ru/document/1200003940) (data obrashcheniya: 28.06.2023).
2. GN 21.6.1338–03. PDK zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest, opredelenie migracii ammiaka v vozduhnyuyu sredu // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: [docs.cntd.ru>document/901865554](http://docs.cntd.ru/document/901865554) (data obrashcheniya: 28.06.2023).
3. GN 2.1.61338–03. Atmosfernyj vozduh i vozduh zakrytyh pomeshchenij. Predel'no dopustimye koncentracii zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest. Gigienicheskie trebovaniya // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: [docs.cntd.ru>document/556185926](http://docs.cntd.ru/document/556185926) (data obrashcheniya: 28.06.2023).
4. Chakchir B.A., Alekseeva G.N. Fotometricheskie metody analiza: metodicheskie ukazaniya. SPb.: SPHFA, 2002. 44 s.

5. Bulatov M.I., Kalinkin I.P. Prakticheskoe rukovodstvo po fotometricheskim metodam. L., 1986. S. 245.
6. Opredelenie koncentracii ammiaka, vydelyayushchego iz betona v vozdushnuyu sredu. URL: <https://findpatent.ru/patent/214/2145949.html> (data obrashcheniya: 15.06.2023).
7. Sposob fotometricheskogo opredeleniya mocheviny i ee proizvodnyh: pat. Ros. Federaciya RU 2093817C1: MPK G01N 21/78 / Bednyak A.E., Pavlova V.M., Gridnev Yu.S., Yacevich O.V.; patentoobladatel' Habarovskij gosudarstvennyj medicinskij institut; zayavl. 23.03.1993; opubl. 20.10.1997.
8. GOST 30181.5–94. Udobreniya mineral'nye metod opredeleniya massovoj doli amidnogo azota v slozhnyh udobreniyah (spektrofotokolorimetriceskij metod). Mezhhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii. URL: protect.gost.ru (data obrashcheniya: 15.06.2023).
9. GOST R 51422–99. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metod opredeleniya massovoj doli mocheviny // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200028426 (data obrashcheniya: 15.06.2023).
10. GOST 29113–91. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Data vvedeniya. Metod opredeleniya massovoj doli mocheviny // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru/document/1200024399 (data obrashcheniya: 15.06.2023).
11. PND F 14.1:2:3:4.155–99. Kolichestvennyj himicheskij analiz vod: metodika opredeleniya sodержaniya mocheviny v pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vodah fotometricheskim metodom. M., 2014.
12. Basova E.M., Bulanova M.A., Ivanov V.M. Fotometricheskoe opredelenie mocheviny v prirodnykh vodah // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser.: 2. Himiya. 2011. T. 52. № 6. S. 419–425.
13. Kokovkina T.K. Primenenie fotokolometriceskogometoda analiza dlya izmereniya koncentracii issleduemogo veshchestva na primere kolorimetra «KFK-2MP» // Radioelektronika, problemy i perspektivy razvitiya: Chetvertaya Vseros. molodezhnaya nauch. konf., posvyashchennaya Dnyu Radio. Tambov, 2019. S. 256–258.
14. Fotometricheskoe opredelenie karbamidov v betonnykh smesyah / A.V. Bulatov [i dr.] // Analitika i kontrol'. 2012. T. 16. № 3. S. 281–284.
15. ND 01.11.32. Metodika izmerenij massovoj doli amidnogo azota v stroitel'nykh materialah // Elektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: docs.cntd.ru (data obrashcheniya: 15.06.2023).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 25.05.2023; одобрена после рецензирования: 17.07.2023;

Принята к публикации: 08.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 25.05.2023; approved after review: 17.07.2023;

accepted for publication: 08.09.2023

Информация об авторах:

Медведева Людмила Владимировна, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: luvlmed@mail.ru, SPIN-код: 9487-3042

Макарчук Галина Васильевна, доцент кафедры военной архитектуры, автоматизированных систем проектирования, естественно-научных дисциплин Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), кандидат педагогических наук, доцент, SPIN-код: 9213-8828

Бранцевич Геннадий Владимирович, генеральный директор ООО «Испытательный центр» (196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 25, к. 1), e-mail: [<icentrspb@bk.ru>](mailto:icentrspb@bk.ru)

Information about the authors:

Medvedeva Lyudmila V., professor of the department of physical and technical fundamentals of fire safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of pedagogical sciences, professor, honored worker of higher education of Russian Federetion, e-mail: luvlmed@mail.ru, SPIN: 9487-3042

Makarchuk Galina V., associate professor of the department of military architecture, automated design systems, natural sciences of the Military institute (engineering and technical) of Military academy of logistics named after general of the army A.V. Khrulev (199034, Saint-Petersburg, nab. Makarova, 8), candidate of pedagogical sciences, associate professor, SPIN: 9213-8828

Brantsevich Gennady V., general director of LLC «Test center» (196158, Saint-Petersburg, Moskovskoe sh., 25, building 1), e-mail: [<icentrspb@bk.ru>](mailto:icentrspb@bk.ru)

Научная статья

УДК 621.039; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-181-188

О ВОЗМОЖНОЙ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ НА АТОМНОМ ЛЕДОКОЛЕ И ОРГАНИЗАЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СПАСАТЕЛЕЙ МЧС РОССИИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЙ

✉ Савчук Олег Николаевич;

Крейтор Владимир Петрович;

Троянов Олег Михайлович.

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

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Аннотация. На основе анализа наличия радиационно опасных объектов в регионах Арктики Российской Федерации рассматривается проблема по обеспечению экологической безопасности в связи с утилизацией отработанного ядерного топлива атомных ледоколов. В связи с ростом количества российских атомных ледоколов в Арктике, специфики их использования, условий хранения накапливающихся радиоактивных отходов на обслуживающих их судах возникает опасность аварий при погрузочно-разгрузочных работах с отработанным ядерным топливом. Рассматривается гипотетическая модель аварии с разгерметизацией контейнера с твердыми радиоактивными отходами, и приводятся рекомендации по организации радиационной разведки и обеспечению безопасности личного состава ГПС МЧС России, принимающего участие в ликвидации последствий радиационного загрязнения, уделяется внимание специфике проведения дезактивации.

Ключевые слова: экологическая безопасность, радиоактивные отходы, твердые радиоактивные отходы, радиационное загрязнение, дезактивация

Для цитирования: Савчук О.Н., Крейтор В.П., Троянов О.М. О возможной радиационной аварии на атомном ледоколе и организации обеспечения безопасности спасателей МЧС России при ликвидации ее последствий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 181–188. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-181-188.

Scientific article

ON A POSSIBLE RADIATION ACCIDENT ON A NUCLEAR-POWERED ICEBREAKER AND ORGANIZATION OF SAFETY OF RESCUERS OF EMERCOM OF RUSSIA DURING LIQUIDATION OF ITS CONSEQUENCES

✉ Savchuk Oleg N.;

Kreytor Vladimir P.;

Trojanov Oleg M.

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

✉ oleg-savcuk@mail.ru

Abstract. Based on the analysis of the presence of radiation hazardous facilities in the Arctic regions of the Russian Federation, the problem of ensuring environmental safety in connection with the disposal of spent nuclear fuel of nuclear icebreakers is considered. Due to the growing number of Russian nuclear icebreakers in the Arctic, the specifics of their use, storage conditions for accumulating radioactive waste on ships serving them, there is a risk of accidents during loading and unloading operations with spent nuclear fuel. A hypothetical model of an accident with

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

the depressurization of a container with solid radioactive waste is considered, and recommendations are given on the organization of radiation reconnaissance and ensuring the safety of personnel of EMERCOM of Russia participating in the elimination of the consequences of radiation pollution, attention is paid to the specifics of decontamination.

Keywords: environmental safety, radioactive waste, solid radioactive waste, radiation pollution, decontamination

For citation: Savchuk O.N., Kreytor V.P., Troyanov O.M. On a possible radiation accident on a nuclear-powered icebreaker and organization of safety of rescuers of EMERCOM of Russia during liquidation of its consequences // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 181–188. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-181-188.

Введение

В настоящее время актуальна проблема по обеспечению экологической безопасности в регионах Арктической зоны Российской Федерации в связи с большим наличием радиационно опасных объектов и, прежде всего, атомных подводных лодок (АПЛ), увеличением числа атомных ледоколов, судов технологического обслуживания, содержащих ядерное топливо и радиоактивные отходы, а также хранилищ временного отстоя отработанного ядерного топлива (ОЯТ) этих объектов, расположенных по побережью Кольского полуострова [1].

Одним из стратегических направлений, намеченных в освоении Арктики, протяженность береговой линии которой составляет около 20 тыс. км, является увеличение количества атомных ледоколов для прохода судов по Северному морскому пути. В стадии строительства атомные ледоколы «Урал», «Якутия», «Чукотка», в перспективе строительство мощных атомных ледоколов типа «Лидер» [2]. Наглядным примером этого является спуск на воду в конце 2022 г. атомного ледокола «Якутия», который пополнит действующий атомный ледокольный флот России до семи судов (табл. 1).

Таблица 1

Действующий атомный ледокольный флот России с планируемым сроком эксплуатации

Наименование ледокола	Год ввода в эксплуатацию	Планируемый вывод из эксплуатации	Тип ядерной энергетической установки
Арктика	2020	2060	РУ РИТМ-200
Сибирь	2021	2061	РУ РИТМ-200
Советский Союз	1989	2029	РУ РИТМ-200
Ямал	1993	2023	РУ РИТМ-200
50 лет Победы	2007	2040	РУ РИТМ-200
Севморпуть	1998	2028	РУ РИТМ-200

Внешний вид одного из перечисленных действующих атомных ледоколов представлен на рисунке.



Рис. Атомный ледокол «50 лет ПОБЕДЫ» у причала при разгрузке

Цель статьи: на примере возможной аварии при разгрузке радиоактивных отходов (РАО) атомного ледокола наметить пути решения проблемы по обеспечению радиационной и экологической безопасности при обращении с РАО таких объектов [3].

Анализ возможных аварий с РАО на атомных ледоколах

В России ежегодно образуется от радиационно опасных объектов свыше 700 т высокоактивных твердых радиоактивных отходов (ТРО), из них 10 % ОЯТ приходится на транспортные средства, на которых установлены ядерные энергетические устройства (ЯЭУ), в том числе таких объектов, как АПЛ и атомные ледоколы.

Высокоактивные ТРО, относящиеся к первому классу, подлежат захоронению с предварительной выдержкой их в хранилищах временного отстоя ОЯТ, а затем отправляются, как правило, железнодорожным транспортом в основном для переработки на ПО «Маяк». К таким ТРО относятся отработавшие свой ресурс тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) тепловыделяющих сборок (ТВС) атомных реакторов судов. На современных атомных ледоколах установлены водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР) типа РИТМ-200, в перспективе на атомных ледоколах типа «Лидер» – РИТМ-400.

В случае разрушения защитной оболочки контейнера с ТРО атомных ледоколов возможно радиоактивное загрязнение местности с разбросом фрагментов ТВЭЛов высокой активности (около $4 \cdot 10^{10}$ Бк/кг) с мощностью дозы излучения отдельных частей, превышающих 100 рад/ч [4].

Радиоактивное загрязнение местности при разрушении защитной оболочки контейнера с ТРО атомных ледоколов в основном будет определяться такими радионуклидами, как: рутений-106 с активностью $9,2 \cdot 10^{13}$ Бк, стронций-90 с активностью $17,4 \cdot 10^3$ Бк, цезий-137 с активностью $24 \cdot 10^{13}$ Бк [4]. Крайне опасно пребывание на такой территории людей в связи с возможным получением ими поражающих доз излучения. Такая территория может на длительное время представлять опасность для людей и животных вследствие больших периодов полураспада таких радионуклидов, как цезий-137 и стронций-90. Возможные аварийные ситуации с разгерметизацией контейнеров с ТРО представлены в табл. 2.

Таблица 2

Возможные аварийные ситуации при обращении с ТРО

Варианты при удалении ТРО	
Варианты внешнего воздействия	Последствия аварии
Землетрясение, ураган, смерч	Нарушение работы механизмов при перемещении ТРО и погрузочно-разгрузочных работ, приводящих к разрушению защитной оболочки контейнера
Пожар	При температуре >1 300 °С возможно разрушение контейнера [5] с выбросом высокоактивных радионуклидов
Ошибки персонала при погрузочно-разгрузочных работах	Разрушение контейнера от падения с разбросом фрагментов твэлов
Технические неисправности погрузочно-разгрузочных механизмов	Разрушение контейнера от падения с разбросом фрагментов твэлов
Аварии при транспортировке	Разрушение контейнера с разбросом высокоактивных фрагментов
Нанесение ударов высокоточным оружием	Разрушение контейнера с разбросом высокоактивных фрагментов

В связи с этим актуально рассмотрение аварийных случаев с разгерметизацией контейнеров с ОЯТ как на стадии консервации, погрузочно-разгрузочных работ и их перевозке, решение проблем обеспечения радиационной и экологической безопасности при обращении с РАО таких объектов.

Например, рассмотрим последствия разгерметизации контейнера в результате падения транспортного упаковочного комплекта (ТУК) с выбросом радиоактивных веществ в результате технической неисправности погрузочно-разгрузочных механизмов при выгрузке его с судна обеспечения атомного ледокола, стоящего у пирса. Так, например, ТУК-120 для хранения и транспортировки неперерабатываемого облученного ядерного топлива атомных ледоколов может содержать от 8 до 14 т высокоактивных отходов.

В результате такого падения ТУК, предположим, произошла разгерметизация контейнера с последующим радиоактивным загрязнением пирса и борта судна и возникновением пожара. Представляет интерес рассмотрения организации радиационной разведки по установлению границ участка радиационного загрязнения и ликвидации последствий такой аварии силами ГПС МЧС России с учетом обеспечения радиационной безопасности личного состава.

Следует отметить, что возникают трудности прогнозирования последствий таких аварий вследствие невозможности определения масштабов достоверного разброса и рассеяния радиоактивных веществ при разгерметизации контейнера с ТРО при падении на пирс. На масштаб разброса фрагментов ТРО и радиоактивных веществ, которые приведут к радиоактивному загрязнению пирса, будут влиять характер повреждения, размеры разгерметизации контейнера, зависящие от высоты падения, скорость и направление ветра. Поэтому гипотетически представим, что разброс отдельных высокоактивных радиоактивных фрагментов произошел на площади с радиусом 30 м.

Мощность дозы излучения фрагментов ТРО можно установить только путем организации замера их техническими средствами радиационной разведки. В связи с возможными высокими мощностями доз излучения отдельных фрагментов целесообразно это осуществить с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оборудованных приборами радиационной разведки. На вооружении МЧС России в настоящее время находятся свыше 1 500 БПЛА вертолетного (мультироторного) типа. В целях оперативности получения данных радиационной разведки о мощности доз излучения разбросанных радиоактивных фрагментов и загрязнения пирса и борта судна целесообразно использование

БПЛА типа Inspire 1 [6] с установкой на его борту прибора ИМД-3 либо нового разработанного БПЛА типа Supercam для контроля радиационного фона в интересах Росгидромета. Тактико-технические характеристики приборов ИМД-3 и Supercam представлены в табл. 3.

Таблица 3

Тактико-технические характеристики приборов ИМД-3 и Supercam

Тип БПЛА	Диапазон измерения мощности дозы излучения	Погрешность измерения, %	Масса целевой нагрузки, кг
Inspire 1(ИМД-3)	0,1 мкЗв/ч – 10 Зв/ч	+/-10	0,85
Supercam	0,05 мкЗв/ч – 10 Зв/ч	+/-20	0,45

Предположим, что разброс наиболее высокоактивных фрагментов ТРО на пирсе был установлен воздушной разведкой БПЛА: № 1 – на расстоянии 15 м от борта судна с мощностью дозы излучения 160 р/ч и № 2 – на расстоянии 20 м с мощностью дозы излучения 100 р/ч.

Силами наземной разведки было установлено на удалении от фрагмента № 2 10 м: мощность дозы излучения 30 р/ч, № 1 – 10 м: мощность дозы излучения 50 р/ч.

Основными известными способами обеспечения безопасности при работе в очагах радиационного загрязнения с повышенными мощностями доз излучения в целях обеспечения радиационной безопасности личного состава подразделений ГПС МЧС России, принимающих участие в ликвидации радиационного загрязнения пирса в результате разброса высокоактивных фрагментов ТРО и тушения пожара на корабле, являются: защита расстоянием, сокращение времени пребывания в зоне радиационного загрязнения, использование экранов.

В связи с этим целесообразно определение безопасных рубежей удаления личного состава, участвующего в ликвидации аварии, от наиболее опасных участков радиоактивного загрязнения [7], а также допустимого времени пребывания личного состава наземной разведки на рубежах обнаружения мощности дозы излучения с учетом получения ими установленных допустимых доз облучения [8] и определения безопасного в радиационном отношении коридора в зоне радиоактивного загрязнения для выдвижения сил ГПС МЧС России для выполнения задач по тушению пожара на судне.

Рассчитаем безопасные рубежи удаления $L_{без}$ от фрагментов № 1 и № 2 согласно формуле [9]:

$$L_{без}=L \sqrt{\frac{2P_L \cdot T}{D_{доп} \cdot K_{осл}}},$$

где P_L – мощность дозы излучения на расстоянии L (м) от источника излучения; T – время облучения, 0,5 ч; $D_{доп}$ – допустимая доза облучения 5 рад; $K_{осл}$ – коэффициент ослабления равен 1.

Безопасное удаление от фрагмента ТРО № 1 составит 31,6 м, от фрагмента № 2 – соответственно 24,5 м.

С учетом установленной дозы облучения можно определить допустимое время пребывания личного состава наземной разведки в зоне радиационного загрязнения на рубежах определения мощности дозы излучения по формуле:

$$T_{доп}=\frac{D_{доп} \cdot K_{осл}}{2 \cdot P_L}. \quad (1)$$

Допустимое время пребывания личного состава наземной разведки в зоне радиационного загрязнения согласно формуле (1) на рубежах замера мощности дозы излучения от фрагмента № 1 составит 3 мин, от фрагмента № 2 – 5 мин.

Используя картографическое расположение фрагментов ТРО и их мощностей доз излучения, а также данных наземной разведки, можно наметить безопасный в радиационном отношении коридор в зоне радиоактивного загрязнения для выдвигания сил ГПС МЧС России для выполнения задач по тушению пожара на судне.

В целях ликвидации радиационного загрязнения и сбора высокоактивных фрагментов ТРО целесообразно привлечь роботизированные средства с дистанционным управлением, состоящие на вооружении подразделений МЧС России, такие как: мобильный РТК Teodor, позволяющий перемещать груз до 100 кг, и многофункциональный робот МРК-35, перемещающий груз до 40 кг [10].

Проблемным в решении обеззараживания пирса и борта судна будет проведение дезактивации с точки зрения обеспечения экологической безопасности. Простой смыв с пирса и борта судна радиоактивных веществ приведет к радиоактивному загрязнению акватории порта. Поэтому, на взгляд авторов, дезактивацию пирса следует проводить путем сбора крупных фрагментов ТРО с помощью роботизированной техники, а мелких радиоактивных частиц – путем сбора по принципу пылесоса.

Дезактивацию борта судна в целях обеспечения экологической безопасности акватории порта целесообразно осуществить в нейтральных водах путем смыва радионуклидов с борта струями воды под давлением с привлечением пожарного катера МЧС России. Это не приведет к радиоактивному загрязнению океана вследствие незначительной площади загрязнения борта. Примером может служить прецедент с вынужденным проливом более значительных объемов радиоактивно загрязненной воды в океан при аварии на АЭС Фукусима (Япония) [11].

Заключение

Увеличение количества российских атомных ледоколов в Арктике, специфика их использования, условий хранения накапливающихся РАО на обслуживающих их судах требуют тщательной разработки методик прогноза возможных аварий с ТРО и организации ликвидации их последствий с учетом обеспечения безопасности личного состава ГПС МЧС России, привлекаемого в этих случаях для тушения пожара на таких судах. Одним из эффективных способов обеспечения безопасности личного состава ГПС МЧС России предлагается расчет безопасного удаления личного состава от участков загрязнения высокоактивными фрагментами ТРО, разбросанными в результате разгерметизации контейнера с ТРО. Прогнозирование аварий с разгерметизацией контейнера ТРО представляет трудности вследствие неопределенности характера разрушения, количества разброса радиоактивных веществ, площади загрязнения. В целях исключения подобных аварий при проведении разгрузочно-погрузочных работ следует тщательно готовить и проверять техническое состояние всех механизмов, участвующих в этом процессе, исключить «человеческий фактор» как причину аварии. Для решения проблемного вопроса обеззараживания пирса с целью обеспечения экологической безопасности целесообразна разработка технических средств дезактивации на принципе действия пылесоса с дистанционным управлением.

Список источников

1. Саркисов А.А. К вопросу о ликвидации радиоактивных загрязнений Арктического региона // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 2. С. 107–124.
2. Акатов А., Коряковский Ю. Атомный ключ к Арктике // Инженерная защита. 2015. Вып. 9.

3. Introduction to DOE Environmental Liabilities, May 2013. URL: www.energy.gov/sites/prod/files/2013/.../Environmental-Liability-101-2013.pdf (дата обращения: 11.06.2023).

4. Методические рекомендации по ликвидации радиационных аварий. М.: ГУ МЧС Магаданской обл., 2020.

5. Ведерникова М.В. Метод комплексного обеспечения безопасности и экологического приема пунктов хранения радиационной опасности на завершающей стадии жизненного цикла: дис. ... канд. техн. наук. М.: Ин-т проблем безопасности развития атомной энергетики РАН, 2016.

6. Кишалов А.Е., Галимзянова Р.Р. Применение БПЛА в задачах подразделений МЧС // Молодой вестник УГАТУ. 2015. № 1 (13).

7. Устав аварийно-спасательных формирований по организации и ведению газоспасательных работ (утв. зам. министра промышленности, науки и технологий от 5 июня 2003 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

8. СП 2.6.6.1168–02. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002) (в ред. от 23 дек. 2010 г. № 167). М.: Минздрав России, 2002.

9. Савчук О.Н. Методика выявления последствий в ЧС мирного и военного времени. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2010.

10. Робототехнические комплексы (РТК): основные модели, описание и ТТХ // Пожарная и инженерная техника. 2018. № 1.

11. Kryshev I.I., Kryshev A.I., Sazykina T.G. Dynamics of radiation exposure to marine biota in the area of the Fukushima NPP in March-May 2011 // Journal of environmental radioactivity. 2012. Vol. 114. P. 157–161.

References

1. Sarkisov A.A. K voprosu o likvidacii radioaktivnyh zagryaznenij Arkticheskogo regiona // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2019. T. 89. № 2. S. 107–124.

2. Akatov A., Koryakovskij Yu. Atomnyj klyuch k Arktike // Inzhenernaya zashchita. 2015. Вып. 9.

3. Introduction to DOE Environmental Liabilities, May 2013. URL: www.energy.gov/sites/prod/files/2013/.../Environmental-Liability-101-2013.pdf (data obrashcheniya: 11.06.2023).

4. Metodicheskie rekomendacii po likvidacii radiacionnyh avarij. M.: GU MCHS Magadanskoj obl., 2020.

5. Vedernikova M.V. Metod kompleksnogo obespecheniya bezopasnosti i ekologicheskogo priema punktov hraneniya radiacionnoj opasnosti na zavershayushchej stadii zhiznennogo cikla: dis. ... kand. tekhn. nauk. M.: In-t problem bezopasnosti razvitiya atomnoj energetiki RAN, 2016.

6. Kishalov A.E., Galimzyanova R.R. Primenenie BPLA v zadachah podrazdelenij MCHS // Molodoj vestnik UGATU. 2015. № 1 (13).

7. Ustav avarijno-spasatel'nyh formirovanij po organizacii i vedeniyu gazospasatel'nyh работ (utv. zam. ministra promyshlennosti, nauki i tekhnologij ot 5 iyunya 2003 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

8. SP 2.6.6.1168–02. Sanitarnye pravila obrashcheniya s radioaktivnymi othodami (SPORO-2002) (v red. ot 23 dek. 2010 g. № 167). M.: Minzdrav Rossii, 2002.

9. Savchuk O.N. Metodika vyyavleniya posledstvij v CHS mirnogo i voennogo vremeni. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2010.

10. Robototekhnicheskie komplekсы (РТК): osnovnye modeli, opisaniye i ТТХ // Pozharnaya i inzhenernaya tekhnika. 2018. № 1.

11. Kryshev I.I., Kryshev A.I., Sazykina T.G. Dynamics of radiation exposure to marine biota in the area of the Fukushima NPP in March-May 2011 // Journal of environmental radioactivity. 2012. Vol. 114. P. 157–161.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.05.2023; одобрена после рецензирования: 07.09.2023;
принята к публикации: 14.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.05.2023; approved after review: 07.09.2023;
accepted for publication: 14.09.2023

Информация об авторах:

Савчук Олег Николаевич, профессор кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru, SPIN-код: 5156-1928

Крейтор Владимир Петрович, заведующий кафедрой сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, e-mail: kreitor.v@igps.ru, SPIN-код: 4494-5096

Троянов Олег Михайлович, доцент кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, доцент, e-mail: sb@igps.ru; troyanovo@igps.ru, SPIN-код: 7467-5841

Information about the authors:

Savchuk Oleg N., professor of the department of security service of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: sb@igps.ru, oleg-savcuk@mail.ru, SPIN: 5156-1928

Kreitor Vladimir P., head of the department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: kreitor.v@igps.ru, SPIN: 4494-5096

Trojanov Oleg M., associate professor of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: sb@igps.ru; troyanovo@igps.ru, SPIN: 7467-5841

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА И ОБЩЕСТВА

Научная статья

УДК 342.2/.7; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-189-195

К ВОПРОСУ ОБ УГОЛОВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НАРУШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА

✉ Вахмистрова Светлана Ивановна;

Раджабова Фирангиз Фахрадин кызы.

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

✉ ven_sv@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена уголовно-правовому анализу некоторых проблем реализации уголовной ответственности за нарушение требований охраны труда. В настоящее время на практике возникает ряд затруднений, связанных с привлечением к уголовной ответственности руководителей организаций за необеспечение безопасных условий труда. В этой связи юридическое научное сообщество рассматривает различные возможности совершенствования действующего уголовного законодательства, позволяющие более эффективно применять на практике ст. 143 Уголовного кодекса Российской Федерации.

Авторами исследуется возможность применения уголовной ответственности в отношении руководителя организации за нарушение правил охраны труда и необеспечения безопасных условий труда в рамках должностных преступлений, в частности за халатность. В статье приводятся результаты уголовно-правового анализа составов преступлений, предусмотренных ст. ст. 143 и 293 Уголовного кодекса Российской Федерации, и выдвигается ряд суждений по совершенствованию действующего Уголовного кодекса Российской Федерации.

Ключевые слова: охрана труда, уголовная ответственность, халатность, безопасные условия труда

Для цитирования: Вахмистрова С.И., Раджабова Ф.Ф. К вопросу об уголовной ответственности за нарушение требований охраны труда // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 189–195. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-189-195.

Scientific article

ON THE ISSUE OF CRIMINAL LIABILITY FOR VIOLATION OF LABOR PROTECTION REQUIREMENTS

✉ Vakhmistrova Svetlana I.;

Rajabova Firangiz F.

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

✉ ven_sv@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the criminal law analysis of some problems of the implementation of criminal liability for violation of labor protection requirements. Currently, in practice, there are a number of difficulties associated with bringing to criminal responsibility the heads of organizations for failure to ensure safe working conditions. In this regard, the legal

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

scientific community is considering various possibilities for improving the current criminal legislation, allowing for more effective application in practice of article 143 of the Criminal Code of the Russian Federation.

The authors investigate the possibility of applying criminal liability against the head of the organization for violation of labor protection rules and failure to ensure safe working conditions within the framework of official crimes, in particular for negligence. The article presents the results of the criminal law analysis of the elements of crimes provided for in articles 143 and 293 of the Criminal Code of the Russian Federation and puts forward a number of judgments on improving the current Criminal Code of the Russian Federation.

Keywords: labor protection, criminal liability, negligence, safe working conditions

For citation: Vakhmistrova S.I., Rajabova F.F. On the issue of criminal liability for violation of labor protection requirements // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 189–195. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-189-195.

Введение

Обеспечение соблюдения требований охраны труда (ОТ) является одним из ключевых условий нормального исполнения работниками трудовых функций. Одним из средств обеспечения права на безопасные условия труда является уголовно-правовая охрана трудовых правоотношений.

Криминализация нарушений требований ОТ социально обоснована и востребована, так как работник находится в зависимом положении и обязан подчиняться правилам, установленным работодателем в рамках трудовых правоотношений. Следовательно, именно работодатель обязан обеспечить безопасность зависимого (подчиненного) труда и обеспечить неукоснительное соблюдение требований ОТ всеми участниками трудовых правоотношений [1].

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с данными Судебного департамента при Верховном Суде Российской Федерации (ВС РФ) ежегодно за нарушение требований ОТ осуждается примерно 100 чел. [2]. Такой показатель может показаться незначительным, а сами нарушения – редко встречающимися на практике, однако в научной литературе отмечается высокая степень латентности преступлений, связанных с нарушением требований ОТ.

Основными причинами невыявления состава преступления, предусмотренного ст. 143 Уголовного кодекса Российской Федерации (УК РФ), являются сокрытие работодателем (а иногда и самими работниками) фактов нарушения требований ОТ, приведших к тяжким последствиям [3], несвоевременное сообщение о несчастных случаях на производстве [4], недостаточно эффективная контрольно-надзорная деятельность уполномоченных государственных органов (инспекций труда, Ростехнадзора и др.) [5] и иные. Кроме того, определенные сложности для квалификации и привлечения виновных к уголовной ответственности за нарушение требований ОТ обусловлены несовершенством уголовного законодательства [6]. С целью оптимизации правоприменения 29 ноября 2018 г. было принято соответствующее постановление Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 29 ноября 2018 г. № 41 «О судебной практике по уголовным делам о нарушениях требований охраны труда, правил безопасности при ведении строительных или иных работ либо требований промышленной безопасности опасных производственных объектов» [7] (постановление Пленума ВС РФ № 41).

Разъяснения, данные ВС РФ, подвергаются достаточно серьезному, критическому обсуждению со стороны научного юридического сообщества. В частности, вызывают нарекания положения постановления Пленума ВС РФ № 41, определяющие круг потерпевших при нарушении требований ОТ. Так, Е.А. Зорина, А.А. Медведева и М.М. Трапезникова

указывают, что исключение из числа потерпевших лиц, осуществляющих свои трудовые функции по гражданско-правовому договору, может отрицательно сказываться на эффективности обеспечения охраны труда [8]. Ранее Д.Ю. Вешняков отмечал, что из числа потерпевших по ст. 143 УК РФ исключаются члены фермерских хозяйств, в случае, когда и виновный также является членом фермерского хозяйства. Ответственность в этом случае может наступить только за соответствующее преступление против жизни и здоровья человека, например, по ст. 109 УК РФ [9]. Постановление Пленума ВС РФ № 41 не устранило этого положения.

Специалисты также отмечают еще одну проблему – сложность привлечения к ответственности по ст. 143 УК РФ руководителей организаций. Например, М.С. Матейкович пишет, что ВС РФ, обобщая судебную практику, обозначил четкие границы уголовной ответственности руководителей организаций за общественно опасные деяния, связанные с нарушением требований ОТ. При этом зачастую руководители уклоняются от ответственности, указывая, что непосредственно обеспечением соблюдения требований ОТ должны заниматься специально уполномоченные лица, например, бригадиры, мастера, начальники подразделений и т.д. [10].

Несмотря на то, что в п. 4 постановления Пленума ВС РФ № 41 руководители организации причисляются к субъектам анализируемого состава преступления, проблема перекладывания ответственности с руководителя организации на нижестоящий управленческий персонал остается. В качестве возможного решения данной проблемы И.А. Кузнецова предлагает привлекать руководителей организации к уголовной ответственности за должностные преступления (например, халатность) в случаях, когда будет установлена причинно-следственная связь между деянием должностного лица и наступившими общественно опасными последствиями [11].

Такую же позицию занимают С.А. Елисеев и М.А. Тыняная, указывающие, что, если в результате нарушения требований ОТ причинен тяжкий вред здоровью или смерть лицу, выполнявшему, по сути, трудовые функции на основании гражданско-правового договора, виновное должностное лицо необходимо привлекать к ответственности по ст. 293 УК РФ [12].

Вместе с тем процедура привлечения руководителя организации к уголовной ответственности за недобросовестное исполнение должностных обязанностей, повлекшее нарушение требований ОТ, предполагает проведение тщательного анализа всех признаков общественно опасного деяния с целью обеспечения правильной квалификации.

Отграничение халатности от нарушения требований ОТ осуществляется как по объективной, так и по субъективной стороне.

По объективным признакам халатность отличается от нарушения требований ОТ, прежде всего, объектом преступного посягательства. Видовым и непосредственным объектом халатности является совокупность взаимосвязанных общественных отношений, обеспечивающих деятельность органов и учреждений публичной власти, органов военного управления, а также организаций и учреждений, прямо указанных в примечании 1 к ст. 285 УК РФ.

Видовым объектом нарушения требований ОТ является нормальная реализация конституционных прав и свобод человека и гражданина, а непосредственным объектом состава преступления, предусмотренного ст. 143 УК РФ, является безопасность труда.

Таким образом, халатность является многообъектным составом, а нарушение требований ОТ – однообъектным.

Исходя из объема непосредственного объекта посягательства, вытекает еще одно отличие халатности от нарушения требований ОТ. Объективная сторона ст. 143 УК РФ предполагает неисполнение или ненадлежащее исполнение субъектом конкретных служебных обязанностей – обеспечения соблюдения требований ОТ, в то время как халатность такой конкретизации не предполагает, и ответственность по ст. 293 УК РФ наступает за неисполнение или невнимательное (небрежное) исполнение любых служебных обязанностей.

Требования ОТ закрепляются в федеральных законах и подзаконных актах, а также в отраслевых нормативных правовых актах. В зависимости от отрасли экономической деятельности объем и содержание данных требований могут отличаться. Например, при осуществлении трудовой деятельности во вредных условиях работодателю предписывается исполнять ряд дополнительных требований, призванных снизить риски причинения вреда здоровью работников и минимизировать травматичность на производстве. Это обстоятельство также необходимо учитывать при квалификации нарушения требований ОТ, так как норма ст. 143 УК РФ является общей по отношению к составам, закрепленным в ст.ст. 215–217, 219 УК РФ. В случаях, когда имеют место нарушения специальных требований безопасности при проведении отдельных видов работ или на специальных объектах, квалифицировать содеянное необходимо по соответствующим статьям УК РФ.

При квалификации нарушения требований ОТ также необходимо устанавливать причинную связь, так как по конструкции состав преступления является материальным. Такая связь может быть только прямая [13]. При квалификации деяния по ч. 1 ст. 293 УК РФ причинная связь может быть как прямая (непосредственная), так и опосредованная. Более того, как отмечают специалисты, при квалификации халатности необходимо учитывать и конвенциональную причинно-следственную связь, что исключается при квалификации по ст. 143 УК РФ.

В субъективных признаках нарушения требований ОТ и халатности также имеют место значительные отличия.

Субъективная сторона нарушения требований ОТ представляет собой более сложный комплекс и характеризуется двойной межотраслевой формой вины. Как отмечается в научной литературе, само нарушение указанных требований может быть как умышленное, так и неосторожное. При этом даже умышленное нарушение требований ОТ не имеет уголовно-правового значения, а образует лишь административное правонарушение, предусмотренное ст. 5.27.1 КоАП РФ. Для квалификации по ст. 143 УК РФ имеет значение лишь наличие общественно опасных последствий, которые наступают по неосторожности. Вина по отношению к последствиям имеет уголовно-правовое значение [14, с. 85–86]. Таким образом, в целом преступное деяние, предусмотренное ст. 143 УК РФ, может быть совершено только по неосторожности.

Сравниваемые составы преступлений различаются и по субъекту преступления. В соответствии с п. 4 постановления Пленума ВС РФ № 41 субъектом преступления, предусмотренного ст. 143 УК РФ, могут быть лица, на которых постоянно или временно была возложена обязанность обеспечивать исполнение требований ОТ. При этом субъектами данного преступления могут быть признаны не только непосредственно участвующие в трудовых отношениях должностные и иные лица, но и сторонние специалисты, привлекаемые к обеспечению исполнения требований ОТ по гражданско-правовому договору.

Таким образом, субъектом преступления, предусмотренного ст. 143 УК РФ, может быть лицо, на которое не только в силу должности, но и по иным основаниям возложена обязанность обеспечивать соблюдение требований ОТ. В этой связи за нарушение требований ОТ далеко не всегда можно привлечь к уголовной ответственности руководителя организации.

В случаях, когда нарушение требований ОТ стало возможным благодаря попустительству руководителя организации (например, вследствие ненадлежащего исполнения последним контрольных полномочий), появляется основание для привлечения такого руководителя по ст. 293 УК РФ. Однако привлечение к уголовной ответственности за халатность руководителя организации возможно только в государственных или муниципальных организациях, так как субъектом должностных преступлений могут быть только лица, перечисленные в примечании 1 к ст. 285 УК РФ. Если же нарушения имели место в коммерческой организации, то привлечь руководителя к ответственности за халатность будет нельзя.

В этой связи ряд авторов предлагают более пристально рассмотреть возможность привлечения к уголовной ответственности юридических лиц [15]. Авторам такая позиция представляется вполне обоснованной, тем более что имеется соответствующий опыт зарубежных стран (например, США, Канады, Испании, Франции и др.). Учреждение института уголовной ответственности юридических лиц, в частности за нарушение требований ОТ, позволит расширить круг субъектов состава преступления, закрепленного ст. 143 УК РФ, и станет серьезным стимулом обеспечения исполнения требований ОТ не только для руководителей организации, но и для ее учредителей.

Заключение

Таким образом, представляется целесообразным на законодательном уровне тщательно проработать возможность уточнения и расширения круга субъектов, привлекаемых к уголовной ответственности за нарушение требований ОТ. Обеспечение безопасных условий труда является одной из приоритетных задач государства. В этой связи уголовно-правовая защита трудовых прав представляется весьма важным средством усиления профилактики нарушений требований безопасности со стороны работодателя и является эффективным стимулом для дальнейшего совершенствования регулирования защиты трудовых отношений.

Список источников

1. Квасников Е.С. Социальная обусловленность уголовной ответственности за нарушение требований охраны // Вестник БелЮИ МВД России. 2023. № 1. С. 97–102.
2. Судебная статистика. URL: <http://www.cdep.ru/index.php?id=79/> (дата обращения: 10.05.2023).
3. Марковиченко С.В. Характеристика и предупреждение преступных нарушений правил охраны труда: дис. ... канд. юрид. наук. Омск, 2011. 27 с.
4. Беляева И.М. Практика и проблемы методики расследования преступлений, нарушающих безопасные условия труда: дис. ... канд. юрид. наук. Челябинск, 2006. 23 с.
5. Хилтунов Н.Н. Уголовная ответственность за нарушение требований охраны труда: дис. ... канд. юрид. наук. М., 2015. 33 с.
6. Соктоев З.Б., Грецкий И.А. К вопросам квалификации и законодательной регламентации преступных нарушений требований охраны труда // Вестник университета имени О.Е. Кутафина. 2022. № 10 (98). С. 165–173.
7. О судебной практике по уголовным делам о нарушениях требований охраны труда, правил безопасности при ведении строительных или иных работ либо требований промышленной безопасности опасных производственных объектов: постановление Пленума Верховного Суда Российской Федерации от 29 нояб. 2018 г. № 41. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Зорина Е.А., Медведева А.А., Трапезникова М.М. К вопросу об уголовно-правовой ответственности за нарушение требований охраны труда // Вестник Санкт-Петербургской юридической академии. 2021. № 3 (52). С. 93–99.
9. Вешняков Д.Ю. Теоретические проблемы криминализации нарушений правил охраны труда в уголовном праве России // Вестник СПбГУ. Сер. 14. Право. 2010. № 2. С. 65–68.
10. Матейкович М.С. Уголовная ответственность за нарушение трудового законодательства и иных актов, содержащих нормы трудового права // Судья. 2018. № 9. С. 21–32.
11. Кузнецова И.А. Некоторые аспекты привлечения работодателя к уголовной ответственности за нарушение трудового законодательства // Трудовое право в России и за рубежом. 2012. № 2. С. 25–28.
12. Елисеев С.А., Тыняная М.А. Квалификация бездействия должностных лиц при конкуренции уголовно-правовых норм // Сибирский юридический вестник. 2016. № 4. С. 12–19.

13. Вешняков Д.Ю. Уголовно-правовая охрана безопасности труда в Российской Федерации: автореф. дис. ... канд. юр. наук. СПб., 2013.
14. Закомолдин Р.В. Преступные нарушения специальных правил и требований безопасности: монография. Тольятти: Филиал РГСУ. 2013.
15. Уголовная ответственность работодателя за нарушение прав работников / Е.А. Зорина [и др.] // Современный ученый. 2021. № 4. С. 270–277.

References

1. Kvasnikov E.S. Social'naya obuslovlennost' ugolovnoj otvetstvennosti za narushenie trebovanij ohrany // Vestnik BelYUI MVD Rossii. 2023. № 1. S. 97–102.
2. Sudebnaya statistika. URL: <http://www.cdep.ru/index.php?id=79/> (data obrashcheniya: 10.05.2023).
3. Markovichenko S.V. Harakteristika i preduprezhdenie prestupnyh narushenij pravil ohrany truda: dis. ... kand. yurid. nauk. Omsk, 2011. 27 s.
4. Belyaeva I.M. Praktika i problemy metodiki rassledovaniya prestuplenij, narushayushchih bezopasnye usloviya truda: dis. ... kand. yurid. nauk. Chelyabinsk, 2006. 23 s.
5. Hiltunov N.N. Ugolovnaya otvetstvennost' za narushenie trebovanij ohrany truda: dis. ... kand. yurid. nauk. M., 2015. 33 s.
6. Soktoev Z.B., Greckij I.A. K voprosam kvalifikacii i zakonodatel'noj reglamentacii prestupnyh narushenij trebovanij ohrany truda // Vestnik universiteta imeni O.E. Kutafina. 2022. № 10 (98). S. 165–173.
7. O sudebnoj praktike po ugolovnym delam o narusheniyah trebovanij ohrany truda, pravil bezopasnosti pri vedenii stroitel'nyh ili inyh rabot libo trebovanij promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov: postanovlenie Plenuma Verhovnogo Suda Rossijskoj Federacii ot 29 noyab. 2018 g. № 41. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
8. Zorina E.A., Medvedeva A.A., Trapeznikova M.M. K voprosu ob ugolovno-pravovoj otvetstvennosti za narushenie trebovanij ohrany truda // Vestnik Sankt-Peterburgskoj yuridicheskoy akademii. 2021. № 3 (52). S. 93–99.
9. Veshnyakov D.Yu. Teoreticheskie problemy kriminalizacii narushenij pravil ohrany truda v ugolovnom prave Rossii // Vestnik SPbGU. Ser. 14. Pravo. 2010. № 2. S. 65–68.
10. Matejkovich M.S. Ugolovnaya otvetstvennost' za narushenie trudovogo zakonodatel'stva i inyh aktov, sodержashchih normy trudovogo prava // Sud'ya. 2018. № 9. S. 21–32.
11. Kuznecova I.A. Nekotorye aspekty privlecheniya rabotodatelya k ugolovnoj otvetstvennosti za narushenie trudovogo zakonodatel'stva // Trudovoe pravo v Rossii i za rubezhom. 2012. № 2. S. 25–28.
12. Eliseev S.A., Tynyanaya M.A. Kvalifikaciya bezdejstviya dolzhnostnyh lic pri konkurencii ugolovno-pravovyh norm // Sibirskij yuridicheskij vestnik. 2016. № 4. S. 12–19.
13. Veshnyakov D.Yu. Ugolovno-pravovaya ohrana bezopasnosti truda v Rossijskoj Federacii: avtoref. dis. ... kand. yur. nauk. SPb., 2013.
14. Zakomoldin R.V. Prestupnye narusheniya special'nyh pravil i trebovanij bezopasnosti: monografiya. Tol'yatti: Filial RGSU. 2013.
15. Ugolovnaya otvetstvennost' rabotodatelya za narushenie prav rabotnikov / E.A. Zorina [i dr.] // Sovremennyyj uchenyj. 2021. № 4. S. 270–277.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.06.2023; одобрена после рецензирования: 08.06.2023;
принята к публикации: 14.07.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 06.06.2023; approved after review: 08.06.2023;
accepted for publication: 14.07.2023

Информация об авторах:

Вахмистрова Светлана Ивановна, доцент кафедры трудового права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ven_sv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4649-4213>, SPIN-код: 6390-7623

Раджабова Фирангиз Фахрадин кызы, магистрант по направлению подготовки «Юриспруденция» Института безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: firangiz.rajabova@mail.ru

Information about the authors:

Vakhmistrova Svetlana I., associate professor of the department of labor law of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ven_sv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4649-4213>, SPIN: 6390-7623

Radjabova Firangiz F. kyzy, master's student in the field of law at the Institute of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: firangiz.rajabova@mail.ru

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научная статья

УДК 614.844.2; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-196-203

РАЗРАБОТКА НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО ОГNETУШАЩЕГО СОСТАВА ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

✉ Киселева Виктория Сергеевна.

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

✉ s-kiseleva1@mail.ru

Аннотация. Цель исследований заключается в обосновании возможности применения углеродных наноструктур в роботизированных установках пожаротушения на объектах с обращением нефтепродуктов. В работе представлены результаты измерений поверхностного натяжения и вязкости воды со смачивателем, модифицированных углеродными наноструктурами (астраленами), а также определения массовой скорости выгорания легковоспламеняющейся жидкости в условиях подачи огнетушащего вещества. Представлены результаты измерений времени тушения модельного очага пожара класса «В» и времени термической деструкции пленки пенообразователя на поверхности горючей жидкости. На основании исследований был сделан вывод о том, что огнетушащие составы, модифицированные астраленами, целесообразно применять в роботизированных установках пожаротушения на объектах с обращением нефтепродуктов с целью обеспечения тепловой защиты и сокращения времени ликвидации пожара.

Ключевые слова: роботизированные установки пожаротушения, огнетушащий состав, поверхностно-активные вещества, углеродные наноструктуры, тепловая защита, раствор пенообразователя

Для цитирования: Киселева В.С. Разработка наномодифицированного огнетушащего состава для роботизированных установок пожаротушения на объектах транспортировки нефтепродуктов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 196–203. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-196-203.

Scientific article

DEVELOPMENT OF A NANOMODIFIED FIRE EXTINGUISHING COMPOSITION FOR ROBOTIZED FIRE EXTINGUISHING INSTALLATIONS AT OIL PRODUCTS TRANSPORTATION FACILITIES

✉ Kiseleva Viktoria S.

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

✉ s-kiseleva1@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to substantiate the possibility of using carbon nanostructures in robotic fire extinguishing installations at facilities with the circulation of petroleum products. The paper presents the results of measuring the surface tension and viscosity of water with a wetting agent modified with carbon nanostructures (astralens), as well

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

as determining the mass burnout rate of a flammable liquid under the conditions of supplying a fire extinguishing agent. The results of measurements of the extinguishing time of a class B model focus and the time of thermal destruction of a foaming agent film on the surface of a combustible liquid are presented. Based on the research, it was concluded that fire extinguishing compositions modified with astralenes should be used in robotic fire extinguishing installations at facilities with the circulation of petroleum products in order to provide thermal protection and reduce the time to extinguish a fire.

Keywords: robotic fire extinguishing installations, fire extinguishing composition, surfactants, carbon nanostructures, thermal protection, foam concentrate solution

For citation: Kiseleva V.S. Development of a nanomodified fire extinguishing composition for robotized fire extinguishing installations at oil products transportation facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 196–203. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-196-203.

Введение

Наиболее вероятными последствиями развития аварийных ситуаций на объектах транспортировки нефтепродуктов являются пожары и взрывы, сопровождающие воспламенением паров нефтепродуктов, образованием ударной волны с фронтом избыточного давления [1]. Кроме того, в последнее время объекты хранения и транспортировки нефтепродуктов становятся подвержены диверсиям и террористическим актам [2]. В таких условиях создается угроза каскадного развития пожара, который мгновенно захватывает большие площади объекта, что создает дополнительные сложности для его ликвидации [3].

Для сокращения времени оперативного реагирования на развитие пожароопасной ситуации и исключения поражения людей опасными факторами пожара (ОФП) все чаще применяются роботизированные установки пожаротушения (РУП). Развитие технологий пожаротушения с помощью РУП неотъемлемым образом связано с разработкой современных, экологически чистых, высокоэффективных огнетушащих и защитных составов (ОТВ), дающих возможность их использования в условиях недостаточного водоснабжения [4], воздействия ОФП. Пути повышения эффективности РУП является возможность увеличения скорости и точности выполнения заданной последовательности действий установки в сравнении с обычными техническими средствами пожаротушения (ОТС).

Одним из способов повышения эффективности РУП является использование ОТВ, минимизирующих время ликвидации горения нефтепродукта. Это достигается за счет применения поверхностно-активных веществ (ПАВ), обеспечивающих снижение поверхностного натяжения огнетушащей жидкости и увеличение стойкости пленки пенообразователя.

Исследования [5] показали возможность повышения эффективности ОТВ и защитных составов в условиях горения нефтепродуктов за счет применения углеродных наноструктур (УНС). Однако до настоящего времени исследования по оценке огнетушащей способности установок пожаротушения с применением ПАВ, модифицированных УНС, не проводились. Целью настоящего исследования было физико-химическое обоснование компонентов рецептур огнетушащих составов на основе воды с ПАВ для применения в РУП на объектах нефтегазового комплекса.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов для исследования использовались: вода и растворы синтетического пенообразователя (ПО) типа «S» (2 и 6 масс %) [6], модифицированные УНС (астраленами) [7], в концентрации 0,01–0,1 масс. %.

Для всех образцов ОТВ были проведены измерения поверхностного натяжения (методом отрыва капель) [8], вязкости (сталагмометрическим методом) [9]. Определялась массовая скорость выгорания легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) (бензин марки «АИ-92»

ТУ-0251-001-12150839–2015) в условиях подачи ОТВ с интенсивностью $0,1 \text{ л}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ [10]. Также были произведены измерения времени тушения модельного очага класса «В» модифицированными ОТВ и термической деструкции пленки ПО на поверхности горючей жидкости [5].

Результаты исследования

Результаты измерений поверхностного натяжения модифицированных ОТВ приведены на рис. 1.

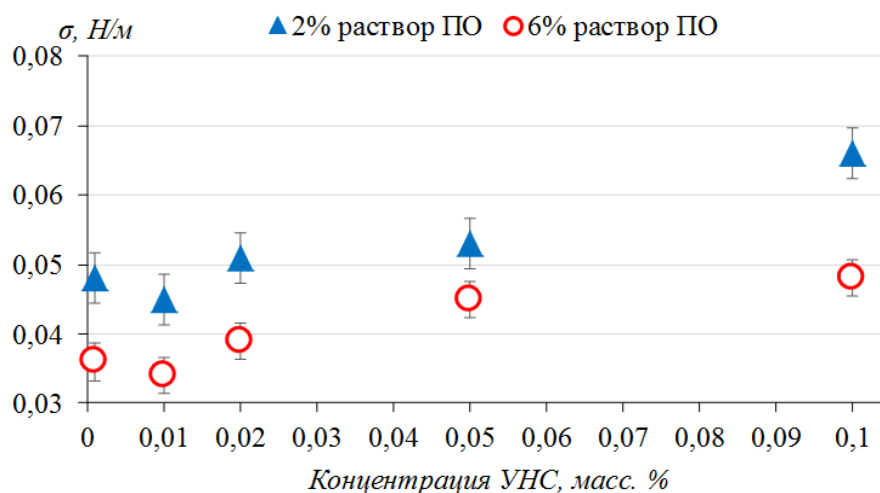


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения модифицированных ОТВ от концентрации УНС

Диспергирование УНС в ОТВ в диапазоне концентраций 0,01–0,02 не приводит к значимому изменению поверхностного натяжения.

При увеличении концентрации УНС свыше 0,01 масс. % происходит рост поверхностного натяжения для всех модифицированных ОТВ. Максимальное изменение значений поверхностного натяжения наблюдалось для концентрации УНС 0,1 масс. % (для 2 % раствора ПО – увеличение на 31 %, для 6 % раствора ПО – увеличение на 49 %).

Результаты измерений кинематической вязкости растворов ПО при температуре $25 \text{ }^\circ\text{C}$ приведены на рис. 2.

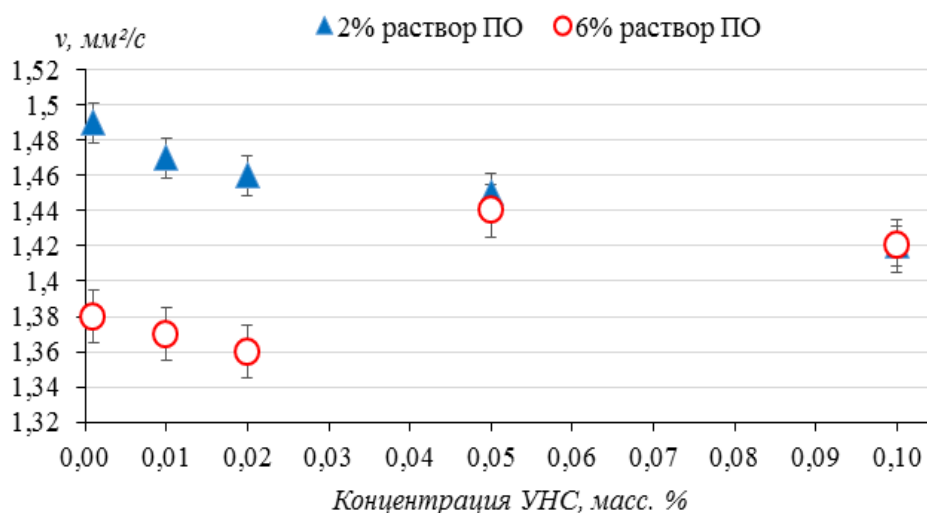


Рис. 2. Зависимость кинематической вязкости модифицированных ОТВ от концентрации УНС

Максимальная кинематическая вязкость наблюдается при концентрации ПО 2 масс. % и концентрации астраленов 0,01 масс. %, а минимальная – при 6 масс. % и концентрации астраленов 0,02 масс. %.

Результаты определения массовой скорости выгорания ЛВЖ в условиях подачи модифицированных ОТВ представлены на рис. 3.

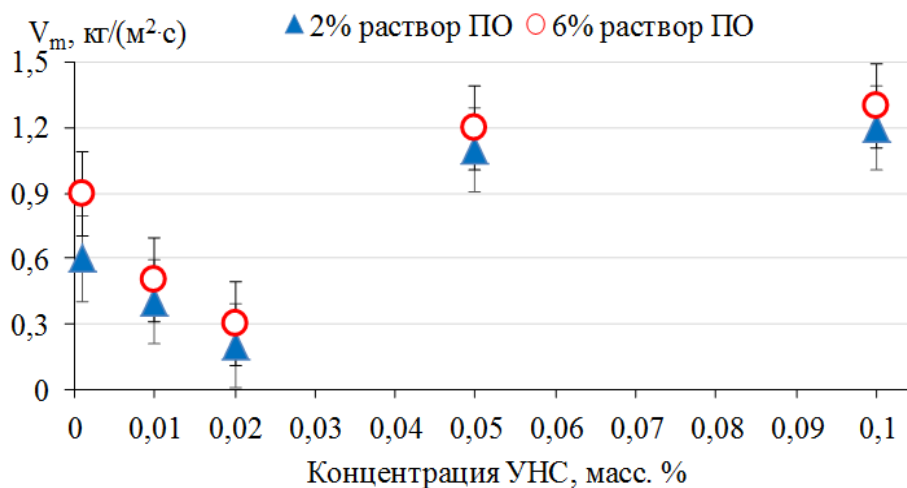


Рис. 3. Зависимость массовой скорости выгорания бензина от концентрации УНС в ОТВ

На основании полученных данных можно сделать вывод, что наименьшая массовая скорость выгорания наблюдалась для ПО 2 масс. % и 6 масс. % с концентрацией УНС 0,02 масс. %.

Результаты исследований влияния концентрации УНС на время ликвидации модельного очага пожара класса «В» модифицированными ОТВ представлены на рис. 4.

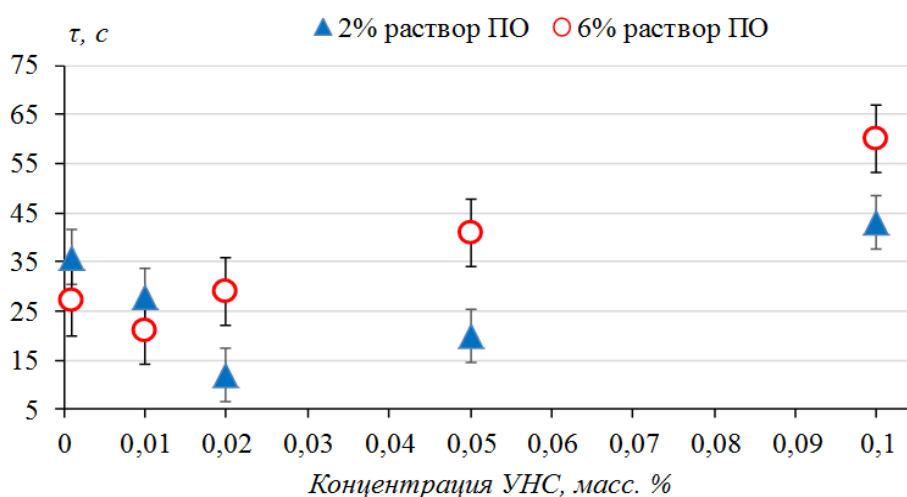


Рис. 4. Зависимость времени тушения модельного очага класса «В» от концентрации УНС в ОТВ

Из полученных результатов можно сделать вывод, что наилучший огнетушащий эффект достигается при использовании ПО 2 масс. % с концентрацией УНС 0,02 масс. %, а для ПО 6 масс. % – с концентрацией УНС 0,1 масс. %.

Данные о времени разрушения пленки ПО в зависимости от концентрации УНС представлены на рис. 5.

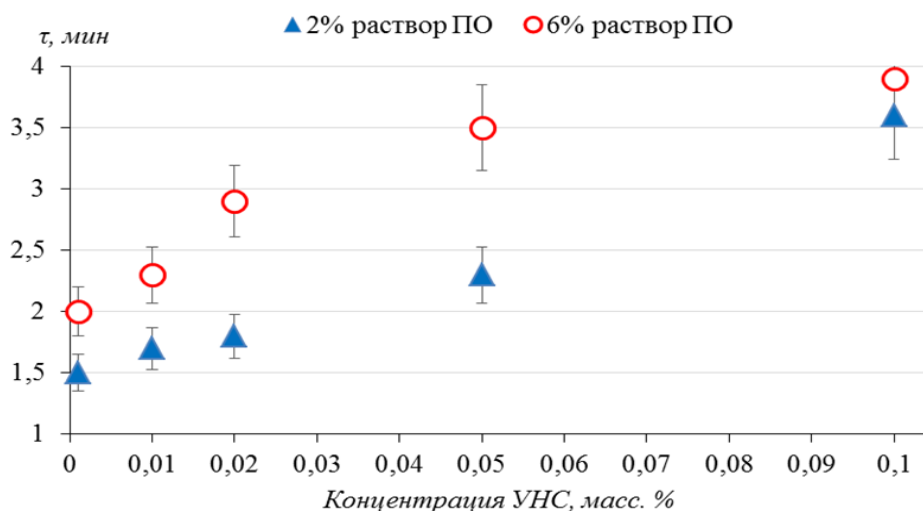


Рис. 5. Зависимости времени разрушения пленки раствора ПО от концентрации УНС

Наибольшее значение времени разрушения пленки ПО в зависимости от концентраций пенообразователя 2 масс. % и 6 масс. % и концентрации астраленов 0,1 масс. %, наименьшее значение времени разрушения пленки ПО в зависимости от концентраций пенообразователя 2 масс. % и 6 масс. % и концентрации астраленов 0,01 масс. %.

Обсуждение результатов

Горение нефтепродуктов сопровождается резким увеличением температуры в зоне горения, характерное для кривой углеводородного пожара:

$$T = T_0 + 1080 \cdot (1 - 0,325e^{-0,167\tau} - 0,675e^{-2,5\tau}),$$

где T – текущая температура в помещении, °C; T_0 – температура в помещении на момент возгорания, °C; τ – время от начала пожара, мин.

Для данных условий достижения температур, приводящих к выходу из строя оборудования РУП, без использования тепловой защиты, при критических достижениях теплового потока [11].

Снижение температуры в зоне горения нефтепродуктов может быть достигнуто путем нарушения теплового баланса [12]:

$$\frac{dq^+}{d\delta} = \frac{dq^-}{d\delta},$$

где q^+ – тепловыделение при сгорании нефтепродуктов; q^- – теплопотери.

$$q^+ = Q_n K_0 \varphi_{\Gamma}^h \varphi_{OK}^m e^{\left(\frac{E_a}{RT}\right)},$$

где Q_n – низшая теплота сгорания горючего; K_0 – предэкспоненциальный множитель; φ_g и $\varphi_{ок}$ – концентрация горючего и окислителя, соответственно; h и m – порядок реакции по горючему и окислителю, соответственно; E – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

$$q^- = q_{конв} + q_{изл} + q_{исп},$$

где $q_{конв}$ – тепло, отводимое конвекцией; $q_{изл}$ – тепло, отводимое излучением; $q_{исп}$ – тепло, отводимое испарением.

При подаче ОТВ происходит увеличение теплотерь из зоны горения и ее охлаждение конвекционной зоны до температуры потухания [13]:

$$T_{пот} = T_{ад} + \Delta T,$$

где $T_{ад}$ – адиабатическая температура, К; ΔT – изменение температуры, К.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что применение наномодифицированных ОТВ ведет к снижению интенсивности испарения ЛВЖ, охлаждению зоны горения, что в конечном счете определяет снижение времени ликвидации горения нефтепродуктов.

Незначительное изменение вязкости ОТВ и увеличение «срока жизни» пленки ПАВ позволяют не только применять модифицированный состав в уже использующихся РУП, но и обеспечивать повышение тепловой защиты оборудования за счет сокращения интенсивности испарения нефтепродуктов под слоем пленки ПАВ. При подаче модифицированного состава происходит охлаждение зоны горения, уменьшение массовой скорости выгорания ЛВЖ, что в конечном счете обеспечивает сокращение времени тушения пожара и уменьшение тепловой нагрузки на конструктивные элементы технологических установок на объектах транспортировки нефтепродуктов.

Таким образом, увеличение огнетушащей способности РУП приводит к снижению теплового потока и температуры в зоне горения, тем самым достигается задача повышения теплозащитной эффективности за счет подачи модифицированных огнетушащих веществ.

Заключение

1. Значительные изменения поверхностного натяжения растворов ПО происходят при концентрации УНС более 0,2 масс. %.

2. Измерения вязкости растворов ПО показали небольшое (до 15 %) увеличение измеренных значений в интервале концентрации астраленов от 0,1 до 1,0 масс. %, что позволяет применять наномодифицированных ОТВ в существующих РУП.

3. Исследования влияния концентрации УНС на разрушение пленки ПО, которое показало, что диспергирование астраленов в растворы ПО в несколько раз увеличивает «время жизни пены», в особенности для концентраций пенообразователя 2 масс. % и 6 масс. %.

4. Исследования влияния концентрации УНС на время ликвидации горения модельных очагов класса «В» модифицированными ПО показали, что наилучшими огнетушащими свойствами (сокращение времени тушения на 25–40 %) обладают составы с содержанием пенообразователя 2 и 6 масс. % с содержанием УНС в растворе 0,01–0,2 масс. %. Для данных составов не наблюдалось повторного воспламенения ЛВЖ после тушения, что может быть объяснено термической стойкостью пленки ПО.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод, что модифицированные огнетушащие составы целесообразно применять при тушении пожаров РУП на объектах транспортировки нефтепродуктов с целью обеспечения тепловой защиты и сокращении времени ликвидации пожара.

Список источников:

1. Рожков Д.М., Седов Д.В., Бемяк А.Л. Исследование величины пожарного риска при транспортировке и хранении нефтепродуктов в условиях нефтебазы // XXI век. Техносферная безопасность. 2022. Т. 7. № 2 (26). С. 168–178.
2. Швырков С.А. Пожарный риск при квазимгновенном разрушении нефтяного резервуара: дис. ... д-ра техн. наук. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2013.
3. Методы повышения безопасности ведения работ по тушению пожара в резервуарных парках / С.А. Имамутдинов [и др.] // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2019. № 1. С. 90–91.
4. Таранцев А.А., Пивоваров Н.Ю. Расчетная оценка водоотдачи тупиковых сетей наружного противопожарного водоснабжения // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 9. С. 73–78.
5. Физический механизм и способ тушения жидких углеводородов модифицированными суспензиями воды с углеродными наноструктурами / А.В. Иванов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность / Fire and explosion safety. 2019. Т. 28. № 1. С. 22–34. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.22-34.
6. Пустовалов И.А., Иванов А.В. Методика повышения огнетушащей способности модульных установок пожаротушения тонкораспыленной водой на объектах нефтегазового комплекса // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. Т. 10. № 4. С. 187–192.
7. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles / A.I. Shames [et al.] // Diamond and related materials. 2009. Vol. 8. № 2-3. P. 505–510.
8. Tanvir, S., Qiao L., Surface tension of nanofluid-type fuels containing suspended nanomaterials // Nanoscale research letters. 2012. Т. 7. № 226. С. 1–10. DOI: 10.1186/1556-276X-7-226.
9. Sohail Mursheda S.M., Patrice E. A state of the art review on viscosity of nanofluids // Renewable and sustainable energy reviews. 2017. № 76. P. 1134–1152.
10. Государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 12.1.044–89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
11. Исследование теплопередачи через двустенный теплозащитный экран робота-пожарного / А. Ştefan [et al.] // Машины. 2022. Т. 10. № 10. С. 942.
12. Горшков В.И. Тушение пламени горючих жидкостей // Монография. 2007. С. 174–181.
13. Nolan D.P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities. 2nd ed. Elsevier Inc., 2011. 340 p. DOI: 10.1016/B978-1-4377-7857-1.00039-2.

References:

1. Rozhkov D.M., Sedov D.V., Belyak A.L. Issledovanie velichiny pozharnogo riska pri transportirovke i hranenii nefteproduktov v usloviyah neftebazy // XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2022. Т. 7. № 2 (26). S. 168–178.
2. Shvyrkov S.A. Pozharnyj risk pri kvazimgnovennom razrushenii neftyanogo rezervuara: dis. ... d-ra tekhn. nauk. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2013.
3. Metody povysheniya bezopasnosti vedeniya rabot po tusheniyu pozhara v rezervuarnykh parkah / S.A. Imamutdinov [i dr.] // Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo». 2019. № 1. S. 90–91.
4. Tarancev A.A., Pivovarov N.Yu. Raschetnaya ocenka vodootdachi tupikovykh setej naruzhnogo protivopozharnogo vodosnabzheniya // Pozharovzryvbezopasnost'. 2012. Т. 21. № 9. S. 73–78.
5. Fizicheskij mekhanizm i sposob tusheniya zhidkih uglevodorodov modificirovannymi suspenziyami vody s uglerodnymi nanostrukturami / A.V. Ivanov [i dr.] // Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and explosion safety. 2019. Т. 28. № 1. S. 22–34. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.22-34.

6. Pustovalov I.A., Ivanov A.V. Metodika povysheniya ognetyushashchej sposobnosti modul'nyh ustanovok pozharotusheniya tonkoraspylennoj vodoj na ob"ektah neftegazovogo kompleksa // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2021. T. 10. № 4. S. 187–192.
7. Structural and magnetic resonance study of astralen nanoparticles / A.I. Shames [et al.] // Diamond and related materials. 2009. Vol. 8. № 2-3. P. 505–510.
8. Tanvir, S., Qiao L., Surface tension of nanofluid-type fuels containing suspended nanomaterials // Nanoscale research letters. 2012. T. 7. № 226. S. 1–10. DOI: 10.1186/1556-276X-7-226.
9. Sohel Mursheda S.M., Patrice E. A state of the art review on viscosity of nanofluids // Renewable and sustainable energy reviews. 2017. № 76. P. 1134–1152.
10. Gosudarstvennyj standart Soyuza SSR GOST 12.1.044-89. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredeleniya. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
11. Issledovanie teploperedachi cherez dvustennyj teplozashchitnyj ekran robota-pozharnogo / A. Ştefan [et al.] // Mashiny. 2022. T. 10. № 10. S. 942.
12. Gorshkov V.I. Tushenie plameni goryuchih zhidkostej // Monografiya. 2007. S. 174–181.
13. Nolan D.P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities. 2nd ed. Elsevier Inc., 2011. 340 p. DOI: 10.1016/B978-1-4377-7857-1.00039-2.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 27.04.2023; одобрена после рецензирования: 28.08.2023; принята к публикации: 31.08.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 27.04.2023; approved after review: 28.08.2023; accepted for publication: 31.08.2023

Информация об авторах:

Киселева Виктория Сергеевна, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: s-kiseleva1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0257-262X>, SPIN-код: 2341-7695

Information about the author:

Kiseleva Viktoria S., adjunct of the faculty of training highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: s-kiseleva1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0257-262X>, SPIN: 2341-7695

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, имеющего 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 (выравнивание по правому краю листа), ниже, отступив одну строку, – название таблицы (полушироко, выравнивание по центру листа), и далее, отступив одну строку, следует разместить саму таблицу);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

8. Оформление библиографии (списка литературы):

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников**, для *обзорных* аналитических статей – **не менее 25 источников**.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок, для обзорных аналитических статей – не менее 50 %.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Правила оформления списка литературы:

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

Литература

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневых процессов: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

9. Оформление раздела «Сведения об авторах»

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона; ученую степень, ученое звание, почетное звание; адрес электронной почты; ORCID для каждого автора (<https://orcid.org/>); SPIN-код для каждого автора (elibrary.ru).

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*

Аннотация. 100–250 слов

Ключевые слова: 3–10 слов

Для цитирования: Иванов С.П. Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1 (61). С. 25–30. (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

Scientific article

METHOD FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES ON OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN CONDITIONS OF OPEN FIRE

✉ **Ivanov Sergey P.**

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

✉ *spi78@mail.ru*

Abstract.

Keywords:

For citation: Ivanov S.P. Method for estimation of the efficiency of fire protection of steel structures on objects of oil and gas complex in conditions of open fire // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere.* 2022. № 1 (61). P. 25–30.

Введение

Текст, текст, текст

Методы исследования

Текст, текст, текст

Результаты исследования и их обсуждение

Текст, текст, текст

Заключение

Текст, текст, текст

Список источников (не менее 10 источников)

References

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 03.02.2022;
принята к публикации: 11.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.01.2022; approved after review: 03.02.2022;
accepted for publication: 11.02.2022

Информация об авторах:

Иванов Сергей Петрович, заместитель начальника научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>, SPIN-код: 0123-3210

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>, SPIN: 0123-3210

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
№ 3 (67)–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 28.09.2023. Формат 60×84_{1/8}.
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