
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Научная статья

УДК 614.844; DOI: 10.61260/2307-7476-2026-1-29-36

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА СКЛАДАХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

✉ Красильников Александр Владимирович;

Немчинов Матвей Сергеевич.

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

✉ matvejnemchinow@gmail.com

Аннотация. Рассматривается роботизированная установка пожаротушения при обеспечении защиты на складах нефти и нефтепродуктов. В настоящее время идет активное внедрение и использование автоматических систем пожаротушения на базе пожарных роботов. Склады нефти и нефтепродуктов требуют особого внимания к соблюдению требований пожарной безопасности, а также повышения надежности и эффективности функционирующих систем безопасности. Роботизированная установка пожаротушения способна обеспечивать защиту резервуарных парков в зависимости от требуемых параметров пожаротушения, которые рассчитываются в соответствии с нормативными документами, как представлено в данной работе. Авторами проводится анализ возможности применения роботизированной установки пожаротушения и требуемых характеристик расхода и напора огнетушащего вещества для резервуара объемом 20000 кубических метров.

Ключевые слова: автоматические установки пожаротушения, пожарные роботы, роботизированные установки пожаротушения, склады нефтепродуктов, резервуары вертикальные стальные

Для цитирования: Красильников А.В., Немчинов М.С. Применение роботизированных установок пожаротушения на складах нефтепродуктов // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2026. № 1 (57). С. 29–36. DOI: 10.61260/2307-7476-2026-1-29-36

Scientific article

THE USE OF ROBOTIC FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS IN OIL PRODUCT WAREHOUSES

✉ Krasilnikov A.V.;

Nemchinov M.S.

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

✉ matvejnemchinow@gmail.com

Abstract. This article discusses a robotic fire extinguishing system for providing protection in warehouses of oil and petroleum products. Currently, there is an active introduction and use of automatic fire extinguishing systems based on fire robots. Warehouses of oil and petroleum products require special attention to compliance with fire safety requirements, as well as improving the reliability and efficiency of functioning security systems.

The robotic fire extinguishing system is capable of protecting tank farms depending on the required fire extinguishing parameters, which are calculated in accordance with regulatory documents as presented in this paper. The authors analyze the possibility of using a robotic fire extinguishing system and the required characteristics of the flow rate and pressure of extinguishing agent for a tank with a volume of 20 000 cubic meters.

Keywords: automatic fire extinguishing installations, fire robots, robotic fire extinguishing installations, petroleum products warehouses, vertical steel tanks.

For citation: Krasilnikov A.V.; Nemchinov M.S. The use of robotic fire extinguishing systems in oil product warehouses // *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects)*. 2026. № 1 (57). P. 29–36. DOI: 10.61260/2307-7476-2026-1-29-36

Введение

Роботизированные установки пожаротушения являются интеллектуальными системами автоматического тушения пожара за счёт применения в них специальных устройств обнаружения и распознавания пожара, что позволяет им проводить тушение очага пожара локально, что помогает минимизировать материальный ущерб от срабатывания автоматических установок пожаротушения на объектах [1, 2]. Для взрывоопасных объектов нефтяной и газовой промышленности на наружных установках, сырьевых, товарных и промежуточных складах, сливо-наливных эстакадах первостепенное значение имеет раннее обнаружение аварийных утечек и проливов, а также предупредительные и локальные меры по осаждению, охлаждению, тушению в ранней стадии, чтобы не допустить развития аварийной ситуации.

Согласно исследованиям одними из самых крупных являются пожары, происходящие в вертикальных стальных резервуарах (РВС), которые способны вызвать цепную реакцию [3].

Наиболее опасным временем года для пожара приходится весенне-летний период, во время которого наблюдается больше половины от всего числа пожаров. Большая часть зимних пожаров носит затяжной характер и требует привлечения значительного количества сил и средств. За последние десятилетие значительная часть пожаров в резервуарах для хранения нефтепродуктов была вызвана такой специфической причиной, как самовозгорание пирофорных отложений до 40 % от общего числа пожаров. Сюда входят также случаи возгораний из-за ошибок и нарушений со стороны персонала в процессе ремонта и очистки резервуаров от отложений. Основными источниками зажигания, которые становились причиной пожара или взрыва, являются огневые и ремонтные работы – 23 %, искры электроустановок – 14 %, проявления атмосферного электричества – 9 %, разряды статического электричества – 10 % [4–6]. В резервуарных парках по вине персонала возникает около 29 % пожаров от их общего числа, около 71 % пожаров возникает по техническим причинам [7].

Пожары на объектах топливно-энергетического комплекса характеризуются причинением серьезного ущерба экологии [8, 9]. При горении нефти и нефтепродуктов образуется множество соединений. Таким образом, на объекте может обращаться множество опасных веществ, способных к горению и имеющие необходимые характеристики для быстрого распространения пламени. Из-за имеющихся характеристик легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ) и горючие жидкости (ГЖ), хранимых на складах нефтепродуктов опасность чрезвычайно высока, что подтверждается возникающими происшестввами. Причинами выбросов могут быть внешние или внутренние коррозии, внутренняя эрозия, износ оборудования, металлургические дефекты, ошибки оператора, повреждения, нанесенные людьми или даже, как результат несоблюдение эксплуатационных требований [10].

Нефть является совокупностью углеводородов с различными группами структурных соединений. В ее состав входят сернистые, азотистые и кислородсодержащие углеводороды, предельные, непредельные и циклические углеводороды. По фракционной перегонке нефть разделяют на фракции, отличающиеся по температурам кипения.

Температура кипения нефти начинается около 20 °С, существует и более тяжелые фракции с температурой кипения от 100 °С и более [11]. Плотность нефти находится в пределах 730–1040 кг/м³. В воде нефть практически нерастворима. Важный вклад в развитие исследований в области диагностики нефтепродуктов с дальнейшей оценкой их пожарной опасности внёс М.А. Галишев [12].

Статистика тушения резервуарных парков показывает, что все пожары были потушены с помощью передвижной пожарной техники. Установки пожаротушения выходят из строя в первые минуты пожара или взрыва. Помимо этого их продолжительность тушения нормативными документами закладывается на определенное время, в среднем 10–15 минут, из-за имеющихся характеристик ЛВЖ и ГЖ, хранимых на складах.

Методы исследования

Цель исследования состоит в оценке эффективности и необходимых характеристик автоматических установок пожаротушения на базе роботизированных установок пожаротушения. Требуемые данные для пожаротушения находятся путем определения необходимого расхода по СП 155.13130.2014, а также проведения гидравлического расчета в соответствии с СП 485.1311500.2020 и определение потерь давления на участках трубопровода.

В соответствии с п. 13.2.11. СП 155.13130.2014 расходы огнетушащих средств следует определять, исходя из интенсивности их подачи на 1 м² расчетной площади тушения нефти и нефтепродуктов. Расчетную площадь тушения следует принимать равной площади горизонтального сечения резервуара. В нашем случае площадь РВС выражается из произведения константы π на квадрат радиуса (22,8 м) и равняется 1632 м². Исходя из п. А.2, расчетные расходы раствора пенообразователя на тушение пожара определяются, исходя из нормативной интенсивности подачи раствора пенообразователя, принимаемой по п. А.2 (для пены низкой кратности) на 1 м² расчетной площади тушения и рабочей концентрации пенообразователя. Для выбранного резервуара с использованием фторсинтетического «пленкообразующего» пенообразователя значение нормативной интенсивности подачи раствора пенообразователя равно 0,07 л/с·м² при подаче на поверхность.

Определение статического напора, влияющего на требуемое давление подбираемой насосной установки. Статический напор определяется, как сумма давления у диктующего пожарного робота и разности отметок оси насоса и диктующего пожарного робота минус гарантированное давление источника водоснабжения.

Результаты и обсуждение

Роботизированные установки пожаротушения представляют собой многокомпонентную, технически сложную систему, то выбор одних лишь пожарных роботов не решает задачу полностью.

В состав роботизированной установки пожаротушения входят как минимум два пожарных робота, защищающих зону контроля, которая определена дальностью подачи огнетушащего вещества, а также составные элементы системы (рис. 1).

Таким образом, расчет сводится к произведению интенсивности подачи раствора пенообразователя, а именно 0,07 л/с·м², и площади горизонтального сечения резервуара хранения нефтепродуктов, а именно 1632 м². По результатам расчета получаем значение необходимого расхода огнетушащего вещества на пожаротушение – 114 л/с. А статический напор получится равным 75 м водяного столба, при условии гарантированного давления от источника водоснабжения 20 м водяного столба и высоте расположения пожарного робота 13,5 м.

Исходя из требований СП 485.1311500.2020, каждая точка должна защищаться минимум двумя пожарными роботами, следовательно, необходимо выбрать пожарный робот с расходом 60 л/с для обеспечения требуемого расхода. В данном случае суммарный расход двух пожарных роботов будет превышать необходимый расход 114 л/с и будет равен 120 л/с. ПР-ЛСД-С60У-Ех-ИК-ТВ предназначен для обеспечения пожаровзрывозащищенности группы из двух резервуаров. Данный пожарный робот – водопенный, универсальный, с программным (дистанционным) управлением, стационарный, во взрывозащищенном исполнении, с извещателем наведения во взрывозащищенном исполнении.

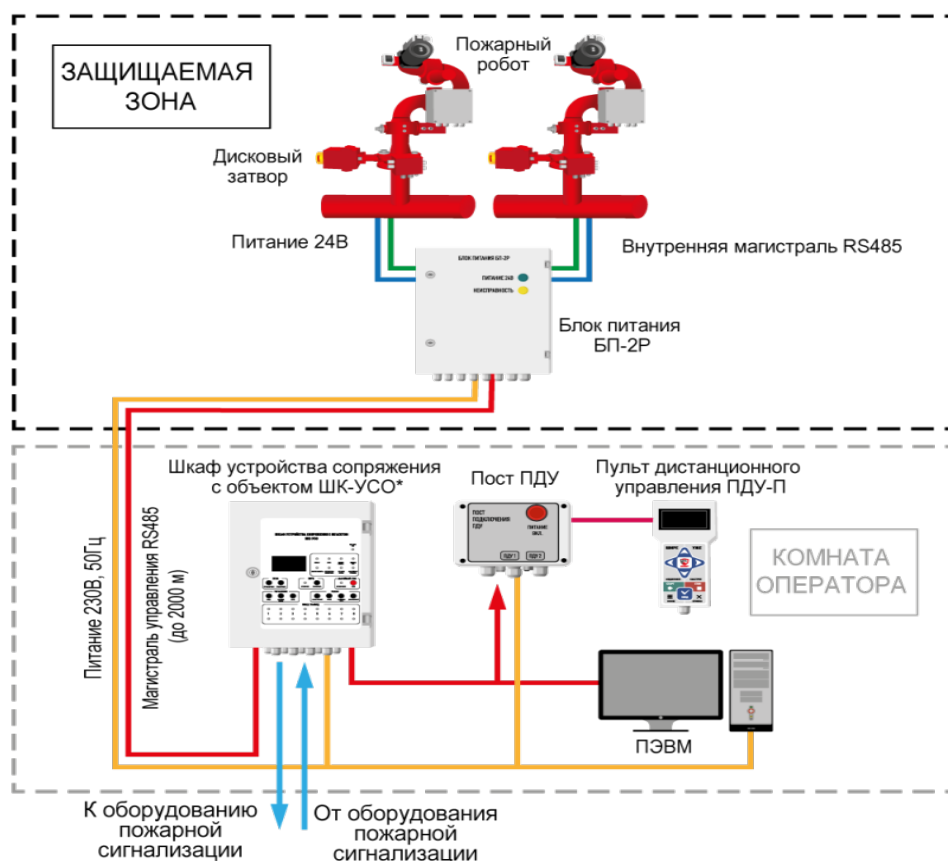


Рис. 1. Структурная схема роботизированной установки пожаротушения (РУП)

Получаем систему из четырех пожарных роботов, защищающих один резервуар размером 20 000 м². При рабочем давлении 0,8 МПа имеют расход 60 л/с. А также главное устройство системы – шкаф устройства сопряжения с объектом и иные технические составляющие РУП. На тушение пожара будут направлены два пожарных робота, еще два будут обеспечивать охлаждение стенок резервуара, либо охлаждение смежных сооружений в зависимости от условий пожара и заложенных алгоритмов. Подача огнетушащего вещества на охлаждение должна составлять половину от расхода на тушение, то есть 30 л/с.

В связи с тем, что в качестве огнетушащего вещества используется раствор пенообразователя, получаемый непосредственно в насосной станции, нахождение его внутри питающего и распределительного трубопроводов не допускается. Таким образом, система будет не водозаполненной, а воздушной. Из-за прокладки трубопроводов на улице, появляется необходимость утепления их для предотвращения возможных обледенений.

Для повышения скорости заполнения кольцевого питающего трубопровода при запуске основных пожарных насосов необходимо установить эксгаустеры. Подробная схема подключения приведена на рис.2.

Эксгаустеры будут подключены после тройного разветвления на тупиковом трубопроводе диаметром 100 мм, что позволит ускорить время заполнения трубопровода

практически в 3 раза. Такое решение позволит проводить тушение в первые минуты развития пожара и обеспечивать локализацию к моменту прибытия первых пожарных подразделений.

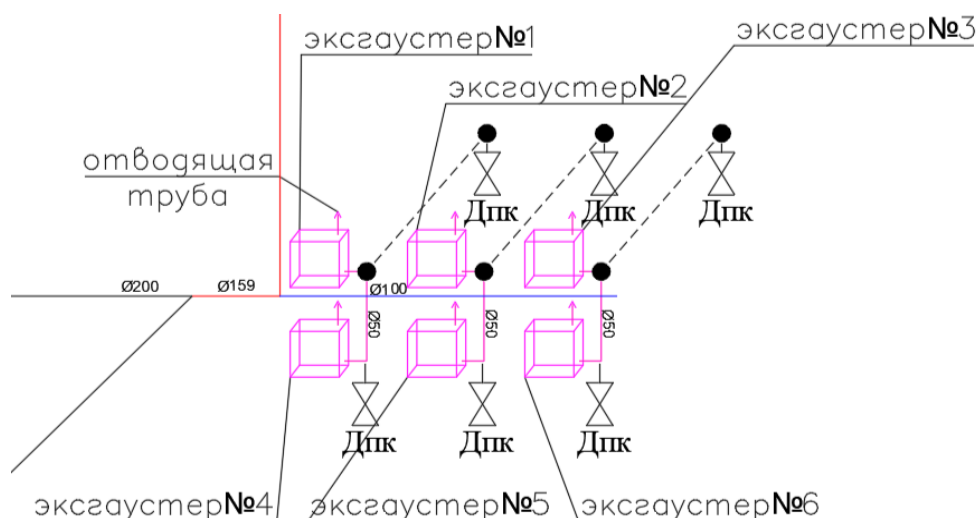


Рис. 2. Схема подключения эксгаустеров

Помимо вышеизложенных технических решений необходимо выбрать насосную установку, исходя из заданных параметров и высоты установки пожарных роботов. Для наибольшей эффективности работы насосной станции необходимо выбирать моноблочную насосную установку, так как все ее компоненты уже имеют необходимые требования под определенные условия. Таким образом, необходимый расход на нужды пожаротушения равен 648 м³/час (180 л/с) со статическим напором 75 м.в.с.

Для подачи воды в защищаемые помещения с расчетным напором и расходом предусмотрена моноблочная насосная установка СО 3 NLB 150/500-132/4/SK-FFS-SS-R-CS и сеть подводящих, питающих и распределительных трубопроводов (рис. 3). Заданный требуемый напор и расход будут обеспечиваться двумя основными насосами и одним резервным, входящими в ее состав. Применение моноблочных насосных установок позволяет минимизировать издержки на ремонт и пуско-наладочные работы системы.

Данная моноблочная насосная установка обладает необходимыми характеристиками для обеспечения подачи необходимого расхода с необходимым напором.

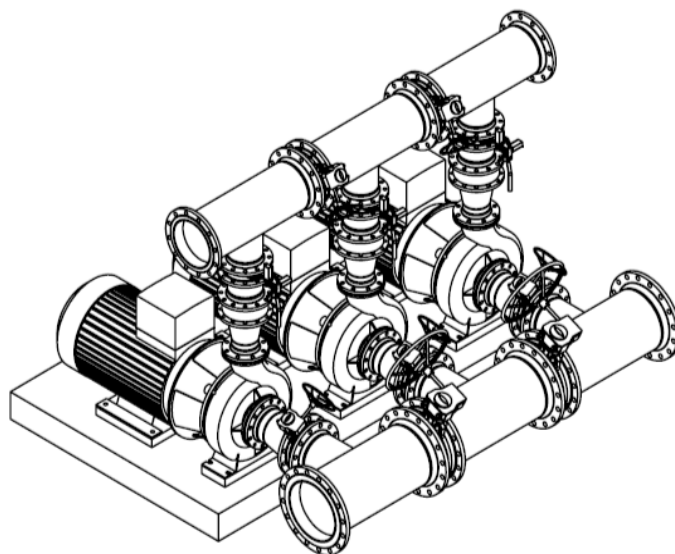


Рис. 3. Моноблочная насосная установка

Выводы

Роботизированная установка пожаротушения функционирует в автоматическом позиционном или контурно-программном режиме сканирования. Ввиду высокой опасности для человека все чаще используют роботизированные технологии.

Рассмотрев технические решения, представленные в данной работе, приходим к выводу, что для обеспечения защиты резервуарного парка, а именно вертикального стального резервуара, потребуется 4 пожарных робота, обеспечивающих подачу огнетушащего вещества с расходом 180 л/с и статическим напором 75 м.в.с.

Использование роботизированных установок пожаротушения позволит избежать выхода из строя систем пожаротушения при взрыве, как это происходит с ГПС-600 и другими автоматическими установками пожаротушения, расположенными по периметру стенок резервуара.

Таким образом, новые интеллектуальные системы пожаротушения помогут минимизировать риск выхода из строя систем пожарной автоматики, а также повысить эффективность их применения.

Список источников

1. Система технического зрения для роботизированных установок пожаротушения / С.Г. Немчинов [и др.] // Экстремальная робототехника. 2022. № 1(33). С. 51–56.
2. Brij V. Gupta, Nadia Nedjah. Safety, Security, and Reliability of Robotic Systems. Algorithms, Applications, and Technologies. 2023 by CRC Press, 276 p.
3. Малинин В.Р. Теоретические основы оценки и способы снижения техногенной опасности резервуарного хранения нефти и нефтепродуктов. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2005. 243 с.
4. Афанасьев П.И. Пасынков А.В. Повышение пожарной безопасности объектов хранения нефти ООО «Лукойл-Северо-Запад нефтепродукт» // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2020. № 3(53). С. 74–77.
5. Самигуллин Г.Х., Кадочникова Е.Н., Тепляков Д.Э. Проблемы обеспечения пожарной безопасности на резервуарах и резервуарных парках // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: Мат. Межд. науч.-практ. конф. Том 1. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. С. 12–15.
6. Скрипник И.Л. Некоторые вопросы снижения пожарной опасности резервуарных парков // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сб. мат. Межд. науч.-практ. конф., Часть 2. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. С. 136–139.
7. Рашоян И.И. Анализ пожарного риска на объектах нефтегазового и химического комплексов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Т. 9, № 3. С. 353–357.
8. Савчук О.Н., Крейтор В.П. Безопасность жизнедеятельности. Прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. СПб: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 152 с. EDN YYVQCL.
9. Матвеев А.В. Организационные и методические аспекты обеспечения безопасности потенциально опасных объектов. СПб: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 144 с. EDN JGVNSE.
10. Соколова Е.В. Защита атмосферы от выбросов углеводородов из резервуаров для хранения и транспортирования нефти и нефтепродуктов // Антропогенная трансформация природной среды: Мат. Межд. конф. Том 3. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2010.
11. Левитин Р.Е., Леонтьев С.А. Предикивный мониторинг выбросов из резервуаров хранения нефти и нефтепродуктов // Трубопроводный транспорт – 2024: Мат. XIX Межд. науч.-практ. конф. В 2-х томах, Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2024. С. 184–186.
12. Галишев, М.А. Многоцелевые экспертные технологии по прогнозированию

и мониторингу чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса: дис... доктора техн. наук. СПб. 2004 294 с.

References

1. Sistema tekhnicheskogo zreniya dlya robotizirovannykh ustanovok pozharotusheniya / S.G. Nemchinov [i dr.] // *Ekstremalnaya robototekhnika*. 2022. № 1(33). S. 51–56.
2. Brij B. Gupta, Nadia Nedjah. *Safety, Security, and Reliability of Robotic Systems. Algorithms, Applications, and Technologies*. 2023 by CRC Press, 276 p.
3. Malinin V.R. *Teoreticheskie osnovy ocenki i sposoby snizheniya tekhnogennoj opasnosti rezervuarnogo hraneniya nefli i nefteproduktov*. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2005. 243 с.
4. Afanas'ev P.I. Pasyukov A.V. *Povyshenie pozharnoj bezopasnosti ob'ektov hraneniya nefli OOO «Lukoil-Severo-Zapad nefteprodukt» // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2020. № 3(53). S. 74–77.
5. Samigullin G.H., Kadochnikova E.N., Teplyakov D.E. *Problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti na rezervuarah i rezervuarnykh parkah // Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf. Tom 1*. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. S. 12–15.
6. Skripnik I.L. *Nekotorye voprosy snizheniya pozharnoj opasnosti rezervuarnykh parkov // Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tekhnologii: sb. mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf., CHast' 2*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2018. S. 136–139.
7. Rashoyan I.I. *Analiz pozharnogo riska na ob'ektah neftegazovogo i himicheskogo kompleksov // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefli i nefteproduktov*. 2019. T. 9, № 3. S. 353–357.
8. Savchuk O.N., Krejtor V.P. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Prognozirovaniye posledstvij chrezvychajnykh situacij tekhnogennoho i prirodnoho haraktera*. SPb: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 152 s. EDN YYVQCL.
9. Matveev A.V. *Organizacionnye i metodicheskie aspekty obespecheniya bezopasnosti potencial'no opasnykh ob'ektov*. SPb: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 144 s. EDN JGVNSE.
10. Sokolova E.V. *Zashchita atmosfery ot vybrosov uglevodorodov iz rezervuarov dlya hraneniya i transportirovaniya nefli i nefteproduktov // Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy: Mat. Mezhd. konf. Tom 3*. Perm': Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet, 2010.
11. Levitin R.E., Leont'ev S.A. *Prediktivnyj monitoring vybrosov iz rezervuarov hraneniya nefli i nefteproduktov // Truboprovodnyj transport – 2024: Mat. XIX Mezhd. nauch.-prakt. konf. V 2-h tomah*, Ufa: UNPC «Izdatel'stvo UGNTU», 2024. S. 184–186.
12. Galishev, M.A. *Mногоцелевые экспертные технологии по прогнозированию и мониторингу чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса: дис... доктора техн. наук*. SPb. 2004 294 с.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 20.01.2026; одобрена после рецензирования: 26.03.2026;
принята к публикации: 29.03.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 20.01.2026; approved after review: 26.03.2026;
accepted for publication: 29.03.2026

Сведения об авторах:

Красильников Александр Владимирович, кандидат технических наук Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: alexanderepert93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5031-3724>, SPIN-код: 7999-2063

Немчинов Матвей Сергеевич, начальник кабинета кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: matvejnemchinow@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3960-7518>, SPIN-код: 5286-7616

Krasilnikov Alexander V., candidate of technical sciences of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: alexanderepert93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5031-3724>, SPIN-code: 7999-2063

Nemchinov Matvey S., head of the department of fire safety of buildings and automated fire fighting systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: matvejnemchinow@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3960-7518>, SPIN-code: 5286-7616