Научная статья
УДК 629.735.45:614.84:665.6; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-3-96-104

О ПРИМЕНЕНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

✉Сытдыков Максим Равильевич;
Сильников Никита Михайлович;
Моторыгин Юрий Дмитриевич.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉maxim0205@mail.ru

Аннотация. Выполнен системный анализ возможностей применения тяжелых беспилотных воздушных судов для тушения пожаров на объектах нефтегазового комплекса – прежде всего на нефтеперерабатывающих заводах и нефтебазах. Исходной постановкой задачи служит высокая пожарная опасность резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов и технологических установок, для которых характерны интенсивное тепловыделение (до 150–200 кВт/м^2), сложные сценарии развития пожара (спокойное горение, вскипание, выброс) и высокий риск перехода огня на соседние резервуары. Показано, что действующие стационарные системы пенного пожаротушения в 18–22 % случаев крупных пожаров оказываются неработоспособными вследствие разрушения трубопроводов, отказа насосных станций и дефицита пенообразователя, а возможности наземной техники ограничены высотой подачи и опасным уровнем теплового излучения.

Выполнен сравнительный анализ технических характеристик перспективных образцов беспилотных воздушных судов (Volocopter VoloDrone, GRIFF 300, «Сварог‑Пожарный», FireDrone‑R1). На основе нормативной интенсивности пенного тушения (0,05 л/(м^2·с) разработана методика расчета требуемого количества беспилотных воздушных судов для тушения типового резервуара РВС‑5000, учитывающая цикл работы беспилотных воздушных судов, коэффициент активности и расход огнетушащего вещества. Показано, что применение беспилотных воздушных судов с бортовыми резервуарами для подобных задач экономически и технически нереалистично (потребность до 30 аппаратов), тогда как системы с подвесным рукавом обеспечивают требуемый расход при 1, 2 ед. техники.

Рассмотрены ключевые ограничения: дальность полета и энергообеспечение, термическая нагрузка, задымление и потеря визуальной навигации, взрывоопасная атмосфера, электромагнитные помехи. На этой основе сформулированы требования к специализированным беспилотным воздушным судам для нефтеперерабатывающих заводов (взлетная масса 400–600 кг, дальность 80–100 км, термостойкость до 180–200 ℃, взрывозащита Ex ia IIC T4, интеграция LiDAR и тепловизоров).

Ключевые слова: беспилотные воздушные суда, пожаротушение, нефтеперерабатывающие заводы, нефтехранилища, резервуарные парки, пенное тушение, пожарная безопасность

Для цитирования: Сытдыков М.Р., Сильников Н.М., Моторыгин Ю.Д. О применении беспилотных воздушных судов для тушения пожаров объектов нефтегазового комплекса // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 3 (79). С. 96–104. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-3-96-104

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2026

Scientific article

ON THE USE OF UNMANNED AIRCRAFT TO EXTINGUISH FIRES AT OIL AND GAS FACILITIES

✉Sytdykov Maxim R.;
Silnikov Nikita M.;
Motorygin Yury D.
Saint-Petersburg university State fire service EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉maxim0205@mail.ru

Abstract. The article provides a systematic analysis of the possibilities of using heavy unmanned aerial vehicles to extinguish fires at oil and gas facilities, primarily at oil refineries and oil depots. The initial formulation of the problem is the high fire hazard of oil and petroleum products storage tanks and technological installations, which are characterized by intense heat generation (up to 150–200 kW/m^2), complex fire scenarios (calm burning, boiling, release) and a high risk of fire spreading to neighboring tanks. It is shown that the existing stationary foam extinguishing systems in 18–22 % of cases of large fires are inoperable due to the destruction of pipelines, failure of pumping stations and a shortage of foaming agent, and the capabilities of ground equipment are limited by the height of supply and dangerous levels of thermal radiation.

A comparative analysis of the technical characteristics of promising unmanned aerial vehicles samples (Volocopter VoloDrone, GRIFF 300, «Svarog‑Fireman», FireDrone‑R1). Based on the standard intensity of foam extinguishing (0,05 l/(m^2·s), a method has been developed for calculating the required amount of UW for extinguishing a typical RVS‑5000 tank, taking into account the UW operation cycle, activity coefficient and consumption of extinguishing agent. It is shown that the use of UVS with on-board tanks for such tasks is economically and technically unrealistic (the need for up to 30 devices), whereas systems with a suspended sleeve provide the required flow rate for 1–2 units of equipment.

The key limitations are considered: flight range and power supply, thermal stress, smoke and loss of visual navigation, explosive atmosphere, electromagnetic interference. On this basis, the requirements for specialized UVS for refineries are formulated (take-off weight 400–600 kg, range 80–100 km, temperature resistance up to 180–200 ℃, explosion protection Ex ia IIC T4, integration of LiDAR and thermal imagers).

Keywords: unmanned aerial vehicles, firefighting, oil refineries, oil storage facilities, tank farms, foam extinguishing, fire safety

For citation: Sytdykov M.R., Silnikov N.M., Motorygin Yu.D. On the use of unmanned aircraft to extinguish fires at oil and gas facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 3 (79). P. 96–104. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-3-96-104

Введение

Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) и нефтехранилища представляют собой объекты повышенной пожарной опасности. В Российской Федерации эксплуатируются 32 крупных НПЗ суммарной мощностью около 290 млн т нефти в год и более 400 нефтебаз с совокупной емкостью резервуарных парков свыше 25 млн м^3[1,2].

Статистика МЧС России за 2020–2024 гг. свидетельствует о 48 крупных пожарах на НПЗ и нефтебазах с суммарным экономическим ущербом около 18,5 млрд руб., при этом

[1] Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Годовой отчет о деятельности в 2024 году. М.: Ростехнадзор, 2025. 402 с.

[2] Министерство энергетики РФ. Итоги функционирования ТЭК России в 2023 году. М.: Минэнерго России, 2024. 156 с.

средняя продолжительность тушения составляла от 8 до 72 ч[3]. Пожары характеризуются высокой интенсивностью тепловыделения (до 150–200 кВт/м^2 при горении нефтепродуктов), быстрым распространением пламени и возможностью перехода в категорию крупномасштабных чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Резервуарные парки оборудуются системами автоматического пенного пожаротушения в соответствии с СП 155.13130.2014[4]. Однако при авариях, сопровождающихся разрушением трубопроводной обвязки или отказом насосных станций (18–22 % случаев крупных пожаров), подача пены затруднена или невозможна [1]. При пожарах на технологических установках НПЗ высотой 40–60 м доступ наземных пожарных подразделений ограничен.

Применение беспилотных воздушных судов (БВС), оснащенных бортовыми системами подачи огнетушащих веществ, становится перспективным направлением повышения эффективности противопожарной защиты. Современные тяжелые БВС с грузоподъемностью 200–225 кг способны оперативно доставлять огнетушащие вещества (ОТВ), такие как пена, порошок или газоаэрозольные составы, непосредственно к очагу возгорания [2].

В Российской Федерации МЧС России совместно с отечественными разработчиками в 2024–2025 гг. провели успешные испытания беспилотных систем пожаротушения. Так БВС «Сварог-Пожарный» успешно потушил условное возгорание на высоте 60–100 м при радиусе действия 5 км [3]. БВС FireDrone-R1 поднял пожарный рукав на высоту 50 м и подал компрессионную пену[5].

Таким образом, целью настоящего исследования является проведение технического анализа возможностей применения тяжелых БВС для тушения пожаров на НПЗ и нефтехранилищах.

Методы исследования

Резервуарные парки включают резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов (РВС) емкостью от 1 000 до 50 000 м^3. Пожары в резервуарах относятся к классу В (горение жидких веществ), характеризуются специфическими параметрами в зависимости от типа нефтепродукта[6], представленными в табл. 1, и различными сценариями развития пожаров, основные из которых показаны на рисунке.



Рис. **Основные сценарии развития пожара в резервуарах**

[3] Статистика пожаров на объектах нефтегазового комплекса РФ за 2020–2024 гг. // МЧС России. URL: https://www.mchs.gov.ru (дата обращения: 15.01.2026).

[4] СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности. М.: Стандартинформ, 2014. 68 с.

[5] МЧС России испытало дрон-пожарный: рукав поднят на 50 метров // Рос. газ. 2025. 12 окт.

[6] Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. М.: Пожнаука, 2020. Ч. 1. 713 с.

Таблица 1

Пожарно-технические характеристики нефтепродуктов при горении в резервуарах

Параметр	Автомобильный бензин	Дизельное топливо	Сырая нефть	Мазут
Температура вспышки, °С	–40	+62	+28…+35	+110
Скорость выгорания, кг/(м²·с)	0,058–0,065	0,042–0,048	0,045–0,055	0,028–0,035
Интенсивность теплового излучения на расстоянии 30 м, кВт/м^2	35–50	25–35	30–42	18–25
Высота пламени над кромкой РВС-5000, м	35–50	20–35	25–40	15–25
Критическое время до начала вскипания, ч	3–5	8–12	5–8	12–18

Под спокойным горением (рисунок) понимается воспламенение паров, формирование устойчивого фронта пламени по всей поверхности зеркала жидкости, прогрев стенок резервуара до 300–400 °С. Выброс (вскипание) – критический режим при прогреве водосодержащего слоя на днище резервуара, когда вода переходит в пар, увеличивается в объеме в 1 700 раз, выбрасывает горящую нефть на высоту до 50 м и расстояние до 100 м [4]. Переход на соседние резервуары происходит при интенсивности теплового излучения более 15–20 кВт/м^2, вероятность воспламенения соседних резервуаров при этом составляет 0,6–0,8 в течение 2 ч горения [5].

Согласно СП 155.13130.2014 резервуары должны быть оборудованы устройствами для подачи ОТВ (генераторы пены) с интенсивностью подачи пены 0,05–0,08 л/(м^2·с) для горючих и легковоспламеняющихся жидкостей (ГЖ и ЛВЖ) соответственно. Однако анализ применения при тушении резервуаров существующих систем и средств пожаротушения позволил выявить их основные недостатки:

– отказ стационарных систем автоматического пенного пожаротушения в 18–22 % случаев происходит из-за разрушения трубопроводов, отсутствия электроэнергии, исчерпания запаса пенообразователя;

– недоступность для наземной техники при пожарах на высоте 45–60 м (максимальная высота подачи автолестницами составляет 50 м);

– тепловое излучение при пожаре в 50–70 кВт/м^2 делает приближение техники невозможным на расстояние менее 80–100 м;

– ограниченная маневренность при групповых пожарах.

Данные недостатки подтверждают актуальность и определяют задачи настоящего исследования:

– провести сравнительный анализ технических характеристик БВС, предназначенных для пожаротушения;

– разработать методику расчета потребного количества БВС для защиты типового резервуарного парка;

– разработать рекомендации по созданию специализированных БВС для тушения пожаров на нефтеперерабатывающих предприятиях;

– провести экономическую оценку предлагаемых рекомендаций.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительный анализ технических характеристик БВС для задач пожаротушения представлен в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики БВС для задач пожаротушения

Параметр	Volocopter VoloDrone[7]	GRIFF 300 [6]	«Сварог-Пожарный»	FireDrone-R1
Максимальный взлетный вес, кг	600	300	350	280
Полезная нагрузка, кг	200	225	25–30	20
Дальность полета, км	40	15	5	2–3
Время полета при полной нагрузке, мин	25–30	30–45	20–25	15–20
Максимальная скорость, км/ч	110	60	80	60
Конфигурация	18 роторов	8 роторов	8 роторов	6 роторов
Объем огнетушащего вещества, л	180–200	200–220	25–30 (рукав)	18–20 (рукав)
Рабочая высота подъема, м	до 100	до 80	до 100	до 60
Система подачи ОТВ	Бак + насос	Бак + насос	Подвесной рукав	Подвесной рукав
Производительность, л/с	3–4	4–5	5–8	4–6

Данные, представленные в табл. 2, показывают, что рассмотренные БВС можно условно разделить на две группы: с бортовым модульным резервуаром с насосом (VoloDrone, GRIFF 300) и системой подвесного рукава («Сварог», FireDrone-R1), преимущества и недостатки которых представлены в табл. 3.

Таблица 3

Технические характеристики БВС для задач пожаротушения

БВС	Преимущества	Недостатки
VoloDrone, GRIFF 300	полная автономность, работа на высоте до 100 м	ограниченный запас ОТВ (40–50 с подачи), частые посадки для дозаправки
«Сварог», FireDrone-R1	неограниченное время подачи ОТВ, высокая интенсивность (до 8 л/с)	зависимость от наземной инфраструктуры, ограничение маневренности

Анализ данных табл. 2, 3 показывает, что существующие БВС, предназначенные для пожаротушения, при достаточно весомых преимуществах имеют серьезные недостатки. Для решения данной проблемы необходимо разработать рекомендации по созданию специализированных БВС на основе расчета потребного их количества для тушения пожаров на нефтеперерабатывающих предприятиях (на примере резервуара РВС-5000).

Расчет потребного количества БВС для тушения пожаров на нефтеперерабатывающих предприятиях на примере резервуара РВС-5000 необходимо проводить по следующему алгоритму:

– определение общего времени одного цикла работы БВС $\tau_{общ}$:

$$\tau_{общ} = \tau_{пол} + \tau_{ОТВ} + \tau_{возв} + \tau_{дз}, \quad (1)$$

где $\tau_{пол}$ – время полета БВС до очага возгорания (500 м), с; $\tau_{ОТВ}$ – время подачи ОТВ (пены), с; $\tau_{возв}$ – время возврата БВС, с; $\tau_{дз}$ – время дозаправки, с;

– определение коэффициента активности $k_{акт}$:

$$k_{акт} = \frac{\tau_{ОТВ}}{\tau_{общ}}; \quad (2)$$

[7] Volocopter and Near Earth Autonomy Partner on Autonomous Flight Capabilities for the VoloDrone. URL: https://www.volocopter.com/ (дата обращения: 18.04.2026)

– определение требуемого расхода ОТВ $Q_{тр}$:

$$Q_{тр} = I_{норм} \cdot S, \quad (3)$$

где $I_{норм}$ – нормативная интенсивность подачи ОТВ (пенного раствора), $I_{норм}$ = 0,05 л/(м^2·с); S – площадь зеркала жидкости, м^2;

– определение количества БВС $N_{БВС}$:

$$N_{БВС} = \frac{Q_{тр}}{Q_{ОТВ} \cdot k_{акт}}, \quad (4)$$

где $Q_{ОТВ}$ – расход ОТВ системой пожаротушения, л/с.

Численные значения параметров, рассчитанных по формулам (1–4), для двух групп БВС представлены в табл. 4.

Таблица 4

Численные значения параметров БВС

Параметр	VoloDrone, GRIFF 300	«Сварог», FireDrone-R1
$\tau_{общ}$, с	302	900
$k_{акт}$	0,17	1,00
S, м^2	408,4	408,4
$Q_{тр}$, л/с	20,42	20,42
$Q_{ОТВ}$, л/с	4	20
$N_{БВС}$, ед	30	2

Данные табл. 4 показывают, что применение БВС с бортовыми резервуарами нереалистично в связи с большой стоимостью таких БВС.

Для разработки рекомендаций по созданию специализированных БВС для тушения пожаров на нефтеперерабатывающих предприятиях необходимо рассмотреть технические ограничения их применения:

1. Дальность полета и время автономной работы:

– 25–45 мин при полной нагрузке;

– для удаленных объектов требуется дальность полета 80–100 км.

Решение – применение гибридных силовых установок (ДВС-генератор + электромоторы), за счет которых время полета увеличивается до 4 ч [7].

2. Тепловое излучение:

– интенсивность 120–150 кВт/м^2 в эпицентре, 20–50 кВт/м^2 на расстоянии 30 м;

– рабочий диапазон стандартной электроники составляет –10…+60 ℃;

– Li-Ion батареи теряют емкость при +50 ℃, риск теплового разгона при +80 ℃.

Решение: термоизоляция из керамических композитов, активное охлаждение, промышленные контроллеры (–40…+85 ℃).

3. Задымление:

– концентрация твердых частиц до 500 мг/м^3, видимость 5–10 м;

– потеря визуальной навигации.

Решение: LiDAR-сканеры (Velodyne VLP-16, дальность 100 м), тепловизоры FLIR Boson 640, радарные высотомеры.

4. Взрывоопасная атмосфера:

– зоны 0, 1, 2 по ГОСТ Р МЭК 60079-10-1–2013[8];

– требуется взрывозащищенное исполнение Ex ia IIC T4.

Проблема – серийных БВС во взрывозащите не существует [8].

Временное решение – применение вне зоны 2 (>100 м от резервуаров).

[8] ГОСТ Р МЭК 60079-10-1–2013. Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды. М.: Стандартинформ, 2014. 88 с.

5. Электромагнитные помехи [9]:

– высоковольтные линии 110–220 кВ, силовые трансформаторы, частотные приводы;

– сбои GPS-приемников, радиоканала управления.

Решение: дифференциальные GPS-системы RTK (точность ±2 см), дублирование каналов (2,4 ГГц + 900 МГц), инерциальные навигационные системы.

Проведенные анализ применения БВС для тушения пожаров на НПЗ и нефтехранилищах, сравнительный анализ технических характеристик и технические ограничения их применения легли в основу разработки рекомендаций по созданию специализированных БВС для тушения пожаров. Требования к специализированным БВС для тушения пожаров НПЗ и нефтехранилищ представлены в табл. 5.

Таблица 5

Требования к специализированным БВС для тушения пожаров

Параметр	Требования		Обоснование
	Минимальное	Оптимальное	
Максимальный взлетный вес, кг	250	400–600	Полезная нагрузка 200+ кг
Полезная нагрузка, кг	150	200–250	ОТВ 180–220 л + оборудование
Дальность полета, км	40	80–100	Покрытие территории НПЗ + резерв
Время полета, мин	30	60–90	Тушение + возврат + резерв
Устойчивость к ветру, м/с	12	15–18	Конвективные потоки пожара
Термостойкость корпуса, ℃	120	180–200	Работа в зоне 20 кВт/м^2
Класс защиты	IP54	IP67	Задымление, осадки, пена
Взрывозащита	–	Ex ia IIC T4	Зоны 2 по ГОСТ Р МЭК 60079-10-1
Точность позиционирования, м	±2	±0,5	Точная подача ОТВ
Объем резервуара ОТВ, л	150	200–300	Подача 40–60 с
Интенсивность подачи, л/с	3	4-6	Тушение площади 20–40 м^2

Представленные данные в табл. 5 показывают, что для создания специализированных систем необходимы БВС с максимальной взлетной массой в 400–600 кг, дальностью 80–100 км, временем полета 60–90 мин, термостойкостью 180–200 ℃, взрывозащитой Ex ia IIC T4, интеграцией LiDAR и тепловизоров.

Выводы

Пожары в резервуарных парках и на технологических установках НПЗ обладают особыми пожароопасными характеристиками, что объективно ограничивает эффективность традиционных наземных средств тушения и стационарных систем пенного пожаротушения.

Сравнительный анализ показал, что существующие тяжелые БВС для пожаротушения делятся на две принципиальные группы: аппараты с бортовыми модулями ОТВ и аппараты с подвесным рукавом. Первая группа обеспечивает автономность, но требует экономически неоправданно большого количества БВС при тушении крупных РВС. Вторая группа обеспечивает практически неограниченное время подачи ОТВ и высокую интенсивность, но зависит от наземной инфраструктуры.

Анализ технических ограничений (дальность и время полета, термостойкость, работа в задымлении и во взрывоопасной атмосфере, помехоустойчивость) позволил сформулировать комплекс требований к специализированным БВС для НПЗ и нефтебаз.

Таким образом, перспективы исследования заключаются в разработке методики расчета БВС для тушения пожаров объектов нефтеперерабатывающих заводов и нефтехранилищ, математических моделей оптимизации траекторий роя БВС, испытании термостойкости при 50 кВт/м^2, натурных испытаниях на действующих объектах, создании национального стандарта, а также создании модульных систем пожаротушения с интегрированными БВС, таких как универсальные установки пожаротушения [10] с БВС.

Список источников

1. Матюшин А.В., Порошин А.А., Корольченко Д.А. Анализ отказов автоматических установок пожаротушения на объектах нефтегазового комплекса // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 2 (92). С. 112–124. DOI: 10.25257/TTS.2021.2.92.112-124

2. Коршунов Г.И., Климанская Е.В. Применение беспилотных летательных для обеспечения пожарной безопасности промышленных объектов // Пожаровзрывобезопасность. 2023. Т. 32. № 4. С. 78–89. DOI: 10.18322/PVB.2023.32.04.78-89

3. Успешные испытания БПЛА «Сварог-Пожарный» в Свердловской области // Пожарная безопасность. 2025. № 10. С. 12–15.

4. Абросимов Ю.Г., Мелихов А.С., Лебедев И.А. Теория вскипания и выброса нефтепродуктов при пожарах в резервуарах // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28. № 6. С. 34–48. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.34-48

5. Молчадский И.С. Пожар на нефтебазе в Василево: анализ причин и последствий // Пожарная безопасность. 2012. № 3. С. 56–64.

6. GRIFF Aviation. GRIFF 300 Application for Offshore Oil & Gas Platforms: Case Study. Bergen, Norway: GRIFF Aviation AS, 2023. 28 p.

7. Johnson P., Smith A., Davis K. Hybrid UAV Technology for Long-Range Missions: Review and Prospects // Journal of Unmanned Vehicle Systems. 2023. Vol. 11. № 4. P. 289–312. DOI: 10.1139/juvs-2023-0025

8. Park K., Lee J., Kim S. Explosion-Proof UAV Design for Hazardous Industrial Environments // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2024. Vol. 71. № 6. P. 6234–6245. DOI: 10.1109/TIE.2023.3289456

9. Zhang W., Chen L., Wang Yu. Fire-AI Swarm UAV System with YOLOv8 Detection: Performance Evaluation // Sensors. 2025. Vol. 25. № 2. Article 412. DOI: 10.3390/s25020412

10. Сытдыков М.Р., Шилов А.Г., Крутолапов А.С. Создание инновационной мобильной универсальной установки пожаротушения: экономическая целесообразность, комплексный анализ затрат и преимуществ // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 4 (76). С. 171–181. EDN OSLNPK. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-171-181

References

1. Matyushin A.V., Poroshin A.A., Korol'chenko D.A. Analiz otkazov avtomaticheskih ustanovok pozharotusheniya na ob"ektah neftegazovogo kompleksa // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2021. № 2 (92). S. 112–124. DOI: 10.25257/TTS.2021.2.92.112-124

2. Korshunov G.I., Klimanskaya E.V. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh dlya obespecheniya pozharnoj bezopasnosti promyshlennyh ob"ektov // Pozharovzryvobezopasnost'. 2023. T. 32. № 4. S. 78–89. DOI: 10.18322/PVB.2023.32.04.78-89

3. Uspeshnye ispytaniya BPLA «Svarog-Pozharnyj» v Sverdlovskoj oblasti // Pozharnaya bezopasnost'. 2025. № 10. S. 12–15.

4. Abrosimov Yu.G., Melihov A.S., Lebedev I.A. Teoriya vskipaniya i vybrosa nefteproduktov pri pozharah v rezervuarah // Pozharovzryvobezopasnost'. 2019. T. 28. № 6. S. 34–48. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.06.34-48

5. Molchadskij I.S. Pozhar na neftebaze v Vasilevo: analiz prichin i posledstvij // Pozharnaya bezopasnost'. 2012. № 3. S. 56–64.

6. GRIFF Aviation. GRIFF 300 Application for Offshore Oil & Gas Platforms: Case Study. Bergen, Norway: GRIFF Aviation AS, 2023. 28 p.

7. Johnson P., Smith A., Davis K. Hybrid UAV Technology for Long-Range Missions: Review and Prospects // Journal of Unmanned Vehicle Systems. 2023. Vol. 11. № 4. P. 289–312. DOI: 10.1139/juvs-2023-0025

8. Park K., Lee J., Kim S. Explosion-Proof UAV Design for Hazardous Industrial Environments // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2024. Vol. 71. № 6. P. 6234–6245. DOI: 10.1109/TIE.2023.3289456

9. Zhang W., Chen L., Wang Yu. Fire-AI Swarm UAV System with YOLOv8 Detection: Performance Evaluation // Sensors. 2025. Vol. 25. № 2. Article 412. DOI: 10.3390/s25020412

10. Sytdykov M.R., Shilov A.G., Krutolapov A.S. Sozdanie innovacionnoj mobil'noj universal'noj ustanovki pozharotusheniya: ekonomicheskaya celesoobraznost', kompleksnyj analiz zatrat i preimushchestv // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2025. № 4 (76). S. 171–181. EDN OSLNPK. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-171-181

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 04.06.2026; одобрена после рецензирования: 15.07.2026;
Принята к публикации: 25.08.2026
The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 04.06.2026; approved after review: 15.07.2026;
Accepted for publication: 25.08.2026

Информация 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. 149), кандидат технических наук, доцент; e-mail: maxim0205@mail.ru, http://orcid.org/ 0000-0002-5343-4764, SPIN-код: 7548-0539
Сильников Никита Михайлович, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр. 149), доктор технических наук, e-mail: silnik@bk.ru, SPIN-код: 9387-7550
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-risk1@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2407-5061, SPIN-код: 3913-7751

Information about the authors:
Sytdykov Maxim R., head of the department of fire, emergency 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
Silnikov Nikita M., associate professor at the department of fire, emergency and rescue equipment and automotive services of Saint Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, e-mail: silnik@bk.ru, SPIN: 9387-7550
Motorygin Yuri D., professor of the department of criminalistics and engineering and technical expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: fire-risk1@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2407-5061, SPIN: 3913-7751