

Научная статья

УДК 614.8; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-58-72

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППЫ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ И ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

✉ **Королев Денис Сергеевич;**

Вытовтов Алексей Владимирович.

Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, г. Воронеж, Россия.

Ильина Надежда Владимировна.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

✉ otrid@rambler.ru

Аннотация. Современные вызовы, стоящие перед Российской Федерацией, связаны с обеспечением безопасности, в том числе пожарной, развитием отечественного конкурентоспособного производства и максимальной интеграцией беспилотных авиационных систем в различные сферы деятельности. МЧС России проводит подобную работу и активно применяет беспилотные воздушные суда различных классов для выполнения задач, входящих в компетенцию министерства, что в условиях ограниченности людских ресурсов позволяет минимизировать риски для жизни и здоровья пожарных подразделений. Однако некоторые технические характеристики и эксплуатационные возможности дронов вызывают вопросы при их практическом применении. В связи с этим авторами работы был проведен анализ основных направлений применения беспилотных авиационных систем в системе МЧС России и предложена методика (алгоритм), позволяющая консолидировать имеющиеся ресурсы. Такой подход позволит максимально эффективно распределять задачи между аппаратами, снижая нагрузку на оператора.

Ключевые слова: ресурсы, методика, поисковые операции, мониторинг, лесные пожары

Для цитирования: Королев Д.С., Вытовтов А.В., Ильина Н.В. Совершенствование методики применения группы беспилотных воздушных судов для информационного обеспечения тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 1 (77). С. 58–72. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-58-72

Scientific article

IMPROVING THE METHODOLOGY FOR USING A GROUP OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR INFORMATION SUPPORT OF FIREFIGHTING AND RESCUE OPERATIONS

✉ **Korolev Denis S.;**

Vytovtov Aleksey V.

Voronezh institute for advanced training of employees of the State fire service of EMERCOM of Russia, Voronezh, Russia.

Irina Nadezhda V.

Voronezh state technical university, Voronezh, Russia

✉ otrid@rambler.ru

Abstract. Current challenges facing the Russian Federation relate to ensuring security, including fire safety, the development of competitive domestic production, and the maximum integration of unmanned aerial systems into various fields of activity. EMERCOM of Russia is conducting similar work and actively deploying various classes of unmanned aerial vehicles to perform tasks within

its purview. This, in the context of limited human resources, minimizes risks to the lives and health of firefighters. However, some technical characteristics and operational capabilities of drones raise questions regarding their practical use. Therefore, the authors analyzed the main areas of unmanned aerial systems use within the EMERCOM system and proposed a methodology (algorithm) for consolidating existing resources. This approach will allow for the most efficient distribution of tasks between the devices, reducing the workload on the operator.

Keywords: resources, methodology, search operations, monitoring, forest fires

For citation: Korolev D.S., Vytovtov A.V., Il'ina N.V. Improving the methodology for using a group of unmanned aerial vehicles for information support of firefighting and rescue operations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 1 (77). P. 58–72. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-58-72

Введение

Практическая реализация и апробация беспилотных авиационных систем (БАС) в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) началась в 2009 г. и осуществляется в настоящее время. Значительно повысилась эффективность реагирующих подразделений и организаций, наблюдается устойчивый рост применения беспилотных систем при авиационном обеспечении мероприятий, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций (ЧС), ликвидацию последствий стихийных бедствий, техногенных, экологических катастроф последнего времени, что обусловлено широкой сферой их применения (рис. 1), проведена оптимизация затрат, обеспечивая долгосрочный положительный эффект [1, 2].

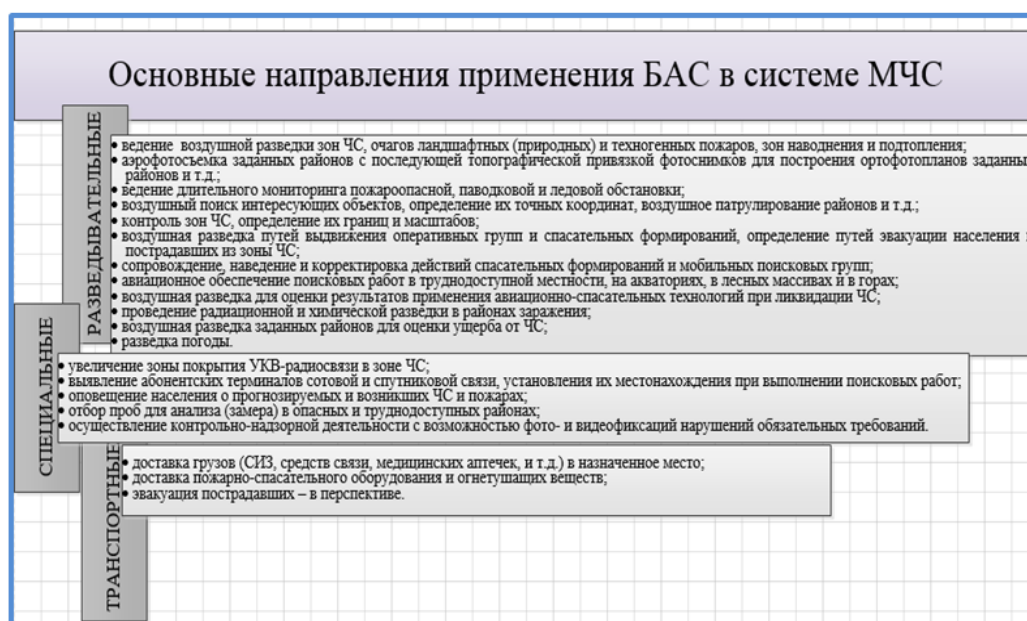


Рис. 1. Сфера применения БАС в решении задач, входящих в компетенцию МЧС России [3, 4]

Сегодня основные усилия разработчиков БАС, наряду с совершенствованием аэродинамической компоновки, увеличением времени полета, дальности и скорости передачи информации с беспилотных воздушных судов (БВС), снижением массогабаритных характеристик, сосредоточены на создании оптико-электронной бортовой аппаратуры много и гиперспектральной съемки, радиолокационного поиска и обнаружения. Для снижения нагрузки на операторов разрабатываются новые алгоритмы обработки данных с использованием нейросетевых технологий и искусственного интеллекта для автоматического распознавания объектов и получения требуемой информации, в том числе создания трехмерных моделей местности [5].

Экспертами отмечается несколько проблем, сдерживающих развитие БАС в системе МЧС России [8, 9], препятствующих ее интеграции, как перспективный инструмент, во все ключевые направления деятельности МЧС России [10]¹:

- недостаточная оснащенность подразделений;
- необходимость совершенствования механизмов управления подразделениями пожарной охраны;
- низкая социальная привлекательность (низкая мотивация специалистов к работе оператором БВС из-за невысокой оплаты труда);
- критически малое количество образцов БВС.

Важным шагом в обеспечении эффективного реагирования подразделений и организаций МЧС России является развитие технологических (внедрение новых, совершенствование и унификация существующих технологий выполнения задач по предназначению) и психологических факторов (профессиональная подготовка операторов, формирование навыков принятия решений в стрессовых ситуациях).

Одним из перспективных направлений является решение о групповом применении БВС при ликвидации последствий крупномасштабных ЧС, техногенных аварий и пожаров, катастроф наземного и воздушного транспорта, при выполнении поисково-спасательных работ в труднодоступной местности. Поэтому цель исследования состоит в разработке общей методики группового применения БВС (роя дронов) для информационного обеспечения решения задач, входящих в компетенцию МЧС России. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать существующий опыт и проблемы применения БВС в системе МЧС России;
- обосновать требования к составу и характеристикам группировки БВС для различных сценариев;
- усовершенствовать методику управления роем БВС;
- провести апробацию предложенного подхода с использованием расчетных методов (имитационного моделирования).

Методы исследования

Практический опыт применения БВС легкого класса показал их высокую управляемость, стабильность, высокое качество передаваемого контента на сверхмалых расстояниях. Например DJI Phantom 4 в идеальных условиях может контролировать около 12,5 км², но в реальной обстановке из-за воздействия внешних факторов анализируемая площадь снижается до 4 км². Помимо этого к эксплуатационным параметрам БВС предъявляются ряд замечаний [10]²:

- имеют батареи малой мощности и малый ресурс работы;
- передача видеоданных с БВС не может выводиться или транслироваться в систему видеоконференцсвязи МЧС России без дополнительного оборудования;
- невозможно применение при отрицательных температурах в зимний период и атмосферных осадках;
- недостаточный радиус действия при проведении поисково-спасательных и мониторинговых работ.

В случае применения «роя» дронов их можно отправлять в труднодоступные места, куда спасатели не могут добраться или существует угроза для их жизни. Кроме того, использование группы аппаратов увеличивает площадь охвата территории и сокращает

¹ О пожарной безопасности: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

² Там же.

общее время выполнения задачи по сравнению с одиночным БВС. Конечно, для реализации такого подхода требуется выполнение нескольких задач [10]³:

- необходимо выстраивание централизованного управления всей группировкой БВС, применяемым в воздушном пространстве над четко обозначенной территорией;
- необходимо доведение единых правил эшелонирования;
- необходим выбор стратегии управления группировкой применительно к решению конкретных задач;
- необходима разработка методов и алгоритмов управления группировкой БВС, включая выявление, распределение целей, разбиение на отдельные группы по задачам;
- необходимо применение систем автопилотирования, обнаружения препятствий, а также отслеживания местоположения всех БВС на заданном участке работ;
- необходима разработка коммуникационной системы, организация единого информационного пространства;
- необходимо определение количества БВС, применяемых в процессе выполнения задач МЧС России.

В связи с этим авторами работы была предложена методика (рис. 3) применения «роя» дронов, представляющая собой некоторую последовательность действий при реализации оперативно-тактических мероприятий.

Характерной новизной можно считать способность:

- одновременно учитывать ключевые факторы оперативной обстановки (метеоусловия, рельеф местности, технические ограничения БВС, плотность растительного покрова);
- динамически корректировать параметры полетного задания в процессе его выполнения;
- обрабатывать информационные потоки, поступающие в режиме реального времени.

Предлагаемая методика описывает общий способ группового использования дронов и должна обеспечить бесперебойную работу системы в целом, а более подробное описание основных этапов представлено далее.

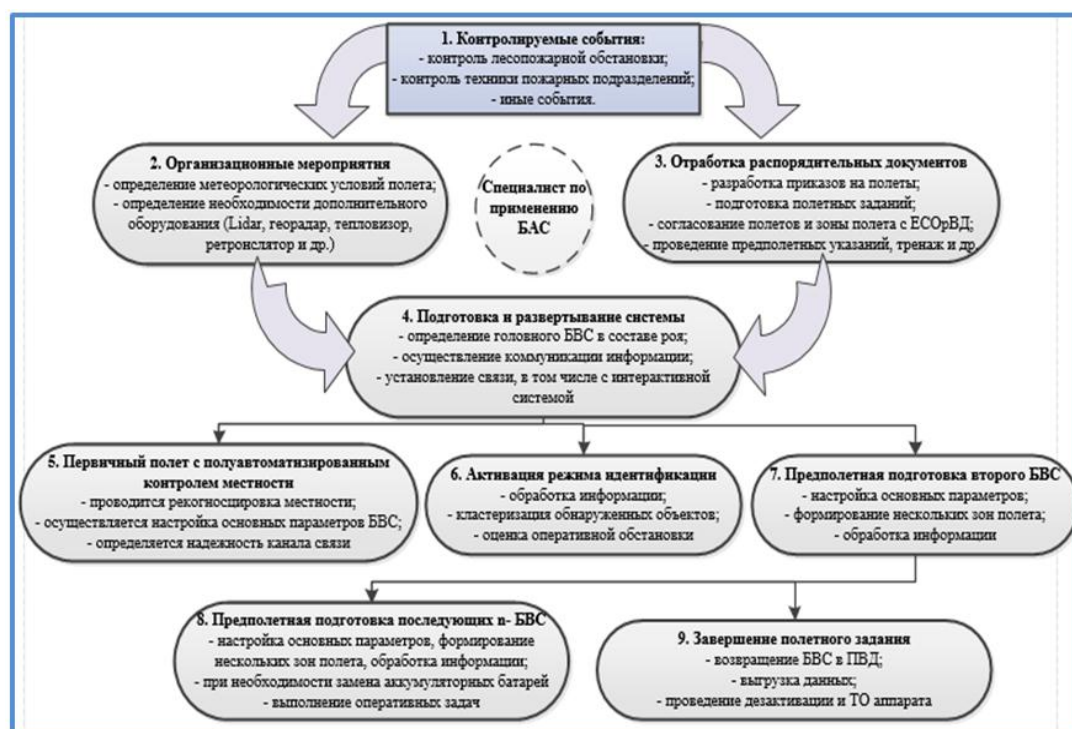


Рис. 3. Блок-схема методики оперативно-тактического мониторинга состояния лесопожарной обстановки при помощи роя БВС

³ О пожарной безопасности: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»

Результаты исследования

Описание основных этапов методики.

1. Контролируемые события.

Природный (ландшафтный) пожар, пострадавший, пожарная техника и другие значимые объекты могут рассматриваться как цели, точное местоположение которых оперативно неизвестно и требует определения. Это создает сложности при целеуказании для подразделений, участвующих в поиске очагов возгорания, эвакуации пострадавших и идентификации сил и средств на местности. Возникает необходимость переноса объекта на карту с указанием координат при помощи существующих систем фото- и видеofиксации, аппаратных комплексов позиционирования, а также средств связи и управления, что позволит задействовать технические средства для автоматизированного мониторинга обстановки. В связи с этим в предлагаемой методике выделяются три группы событий: контроль лесопожарной обстановки, сил и средств и поиск.

2. Организационные мероприятия.

Осуществление полетов во многом зависит от метеорологической обстановки, складывающейся на заданной территории. Поэтому предварительно изучается точный прогноз погоды и делается заключение о целесообразности проведения полетного мероприятия (рис. 4) [11, 12].

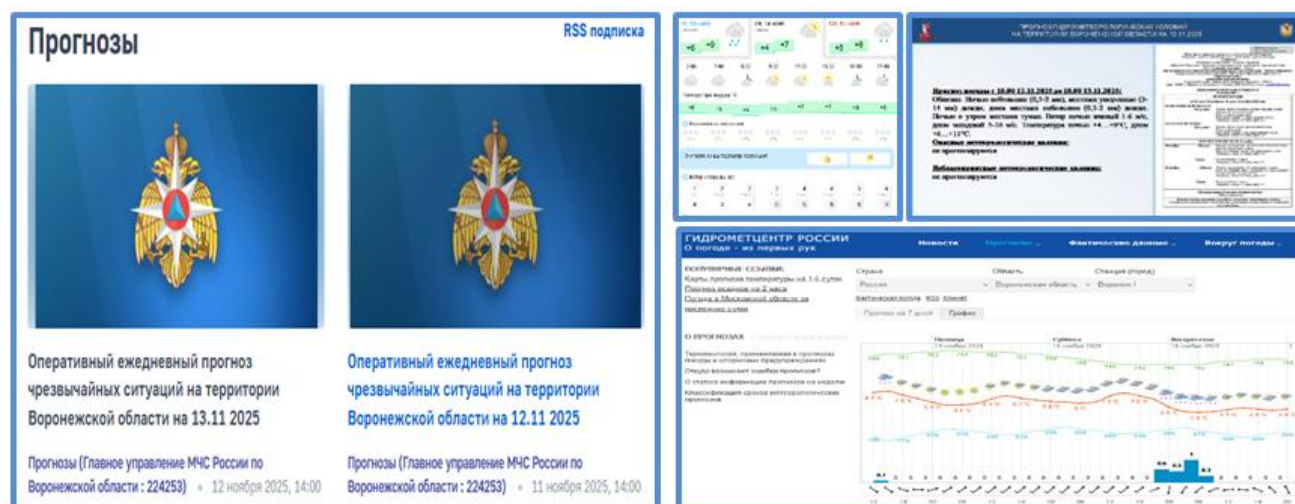


Рис. 4. Разработка и применение ежедневных оперативных прогнозов [13–15]

Для проведения поисково-спасательных работ или мониторинга лесопожарной обстановки в густом лесу следует учитывать вертикальную видимость как основной фактор, влияющий на высоту идентификации объекта на местности. Для автоматизации процесса можно использовать приемы машинного зрения и технологии искусственного интеллекта. Для распознавания пожарных автомобилей искусственную нейронную сеть обучают на примере марок, цветов автомобилей, номеров пожарно-спасательных частей. Сеть определяет машину и отмечает ее на карте, присваивая координаты.

Однако при высокой плотности растительного покрова идентификация пожарного автомобиля или человека под углом на периферии кадра может быть недостаточно надежной, то есть необходима боковая фиксация. Поэтому одной из дальнейших основных задач исследования является определение подходов межаппаратной коммуникации БВС, необходимого их количества, а также оценка целесообразности применения дополнительного оборудования: Lidar-систем [16], георадаров [17], тепловизоров [18] и др.

3. Отработка распорядительных документов.

Регламентные требования по документарному сопровождению остаются стандартными:

- издается приказ об организации и проведении полетов БВС;
- проводится постановка задач;
- осуществляется общий контроль готовности;
- подается представление на использование воздушного пространства и планы полетов в центр планирования и координации использования воздушного пространства Московского регионального центра с дальнейшим контролем их прохождения;
- доводятся предполетные указания.

Важно отметить, что выполнение организационных мероприятий, указанных выше, в условиях быстроразвивающегося оперативного события требует определенного времени. В связи с этим выполнение подобных процедур выполняется должностным лицом отдела применения БАС, группы контроля применения БАС, центра управления в кризисных ситуациях параллельно с выдвиганием сил и средств. В исключительных случаях допускается отработка документов по сокращенной схеме либо издается распорядительный документ на предстоящую неделю, определяющий порядок действий должностных лиц, в случае оперативного (экстренного) реагирования.

4. Подготовка и развертывание системы.

На данном этапе осуществляется развертывание наземной станции управления и определение головного БВС в составе роя. Отметим, что коммуникация между роем и управляющим центром представляет собой одноточечное соединение (рис. 5), реализуемое посредством технологий Wi-Fi, 4G, LoRa, на базе головного БВС. Передача информации должна осуществляться с высокой степенью надежности – без потерь, задержек или ошибок, особенно в динамической среде.

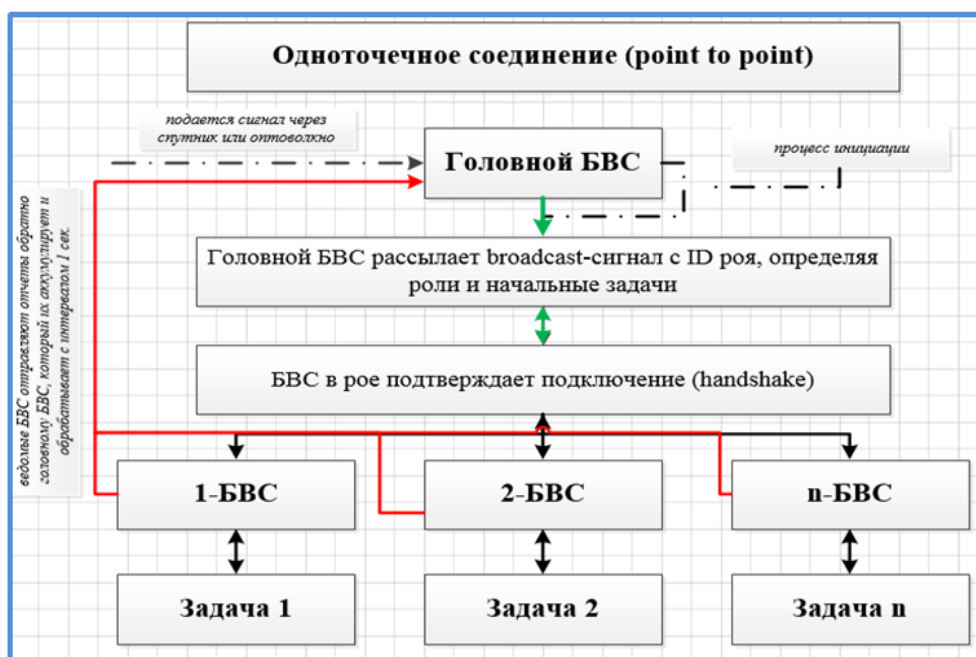


Рис. 5. Принципиальная схема одноточечного соединения

Максимальная скорость передачи данных зависит от частоты, модуляции, расстояния и может быть описана формулой Шеннона-Хартли (1) [19]:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) , \quad (1)$$

где S – уровень сигнала (например, сигнал стандарта IEEE 802.11); N – уровень шума (чем больше дронов, тем больше интерференции, наличие ЛЭП, гор и т.д.); B – ширина полосы, МГц; C – пропускная способность, МБит/с.

Формула Шеннона – Хартли (1) в явном виде не содержит частоту, вид модуляции и расстояние, но эти параметры оказывают непосредственное влияние на ширину полосы и отношение сигнал/шум. Например, частота определяет характер затухания сигнала и уровень помех, что сказывается на уровне сигнала. Вид модуляции задает требование к минимальному значению отношения сигнал/шум для обеспечения заданной вероятности ошибки. Расстояние влияет на радиоканал, чем больше расстояние, тем слабее сигнал, что также отражается на сигнал/шум. Все перечисленные факторы учитываются через исходные данные для расчёта по формуле (1).

В дальнейших расчётах под величиной C понимается номинальная (реальная) скорость передачи данных, обеспечиваемая конкретной технологией связи (Wi-Fi, 4G и др.) в типовых условиях эксплуатации.

Для одного канала пропускную способность можно рассчитать по формуле (2) [20], для роя БВС необходимо учитывать интерференции и хопы (3). Общий поток можно определить по формуле (4). Примерный расчет представлен в табл 1.

$$R = C \cdot (1 - PLR) ,$$

$$R_{swarm} = \frac{R_{link}}{H} \cdot (1 - PLR)^H , \tag{3}$$

$$R_{общий} = \min\left(R_{link} \cdot \frac{B}{N}\right) , \tag{4}$$

где R – достоверный поток данных, МБит/с; PLR (packet loss ratio) – доля потерянных пакетов (0...1); H – среднее число хопов (выбор хопов обусловлен типовой топологией сети при групповом применении дронов, то есть согласно исследованиям [21–23] при увеличении количества узлов средняя длина маршрута (число хопов) возрастает логарифмически, следовательно, для роя БВС до 10 шт. оптимальная маршрутизация обеспечивает не более $H=2$ ретрансляций, а для групп до 100 аппаратов H – не более 3); B – общая полоса частот, МГц; R_{link} – достоверная скорость передачи данных на один дрон (с учётом потерь пакетов и ретрансляций), МБит/с.

Таблица 1

Расчет основных параметров для роя дронов

Малый «рой» БВС (до 10 шт.)	Большой «рой» БВС (до 100 шт.)
<p>N – 10 шт.;</p> <p>расстояние – 500 м;</p> <p>Wi-Fi – 5 ГГц ($C=100$ МБит/с – номинально)</p> <p>PLR – 10 % (потери);</p> <p>H – 2;</p> <p>R – достоверный поток данных, пропускаемый через 1 дрон – 2 МБит/с</p> <p>Номинальный поток на канал:</p> $R_{link} = C \cdot H = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ МБит} / \text{с}$ <p>Для «роя» БВС общий:</p> $R_{swarm} = \frac{90}{2} \cdot (0,9)^2 \approx 36 \text{ МБит} / \text{с}$	<p>N – 100 шт.;</p> <p>расстояние – 500 м;</p> <p>Wi-Fi – 5 ГГц ($C=50$ МБит/с – снижена из-за внешних помех);</p> <p>PLR – 20 % (потери);</p> <p>H – 3;</p> <p>R – достоверный поток данных, пропускаемый через 1 дрон – 1 МБит/с</p> <p>Номинальный поток на канал:</p> $R_{link} = C \cdot H = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ МБит} / \text{с}$

Малый «рой» БВС (до 10 шт.)	Большой «рой» БВС (до 100 шт.)
<p>Требуемый:</p> $R_{10} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ мБит/с}$ <p><i>Вывод:</i> при использовании в рое 10 БВС будет обеспечена достаточная мощность передачи сигнала</p>	<p>Для «роя» БВС общий:</p> $R_{\text{swarm}} = \frac{40}{3} \cdot (0,8)^3 \approx 7 \text{ мБит/с}$ <p>Требуемый:</p> $R_{100} = 100 \cdot 1 = 100 \text{ мБит/с}$ <p><i>Вывод:</i> при использовании в рое 100 БВС не будет обеспечена достаточная мощность передачи сигнала, поэтому целесообразно снизить качество передаваемого контента или добавить ретранслятор</p>

Другие участники системы являются ведомыми узлами роя, которые обмениваются данными внутри роя и принимают задачи от головного БВС посредством:

- широковещательной передачи (broadcasting), когда один БВС отправляет информацию всем остальным;
- точечной передачи (unicast), когда информация адресована конкретному БВС;
- групповой передачи (multicast), когда используется «рой» БВС.

Проверка сопряжения головного БВС осуществляется через пульт управления. Устанавливается уровень сигнала от пульта, передача цифрового изображения с камеры. Далее проверка проброса сигнала на мультимедийный пульт штаба. На цифровой карте подгружается участок местности из общедоступных геоинформационных источников карт, осуществляется позиционирование БВС красной мерцающей точкой. Если возникает ситуация, когда один из аппаратов выбыл из «роя», то его задачи перераспределяются. В случае выхода из строя головного БВС его заменяет альтернативный дрон с наибольшим запасом ресурсов.

5. Первичный полет с полуавтоматизированным контролем местности.

Этап подразумевает под собой проведение рекогносцировки на местности и последующую техническую проверку всей системы: калибровку компаса, стабильность связи, количество принимаемых спутников, анализируется точка взлета с отображением на интерактивной карте. Оператор БВС фиксирует обстановку на пожаре, определяет направление для введения сил и средств пожарной охраны, поисковых подразделений.

Одновременно с этим головной БВС проводит фиксацию местности с последующей постобработкой, формирует ортофотоплан участка возгорания (поиска) и идентифицирует пожарную технику (рис. 6). Современные БАС имеют системы позиционного контроля, позволяющие компенсировать ветровое смещение аппарата, а бортовые программы контроля могут пересчитать эти данные в сведения о скорости и направлении ветра.



Рис. 6. Ортофотоплан высокого качества

Таким образом, применение «роя» БВС возволит:

- контролировать пожарную технику;
- осуществлять мониторинг области распространения пожара;
- оценивать изменения погодных условий;
- определить величину пожарной нагрузки, тип лесного насаждения;
- спрогнозировать интенсивность горения.

Выбор оптимального размера «роя» БВС представляет собой многогранную задачу, зависящую от множества факторов: цели и задачи, окружающей среды, используемой технологии и ресурсов и т.д. Базовый расчет количества БВС можно представить формулой (5) [24]:

$$N = \frac{A}{P} + K_3, \quad (5)$$

где N – количество БВС, шт.; A – площадь зоны, км²; P – площадь покрытия одним БВС, км²/дрон; K_3 – запас на покрытие слепых зон, обычно 20 % от общего числа.

Если задача заключается в поиске пострадавшего, следует учитывать детальный мониторинг зон и вводить поправочный коэффициент эффективности применения БВС (6) [25]:

$$N = \frac{\rho \cdot A}{E} + K_3, \quad (6)$$

где E – коэффициент эффективности применения БВС, учитывающий потери дронов (отказы, сбой) или избыточное перекрытие зон покрытия (принимается в диапазоне 0,8–1, то есть $E=1$, что соответствует идеальному сетевому покрытию без перекрытий и пропусков, $E=0,8$ – значение для реальных условий с учетом рельефа и помех) [26]; ρ – требуемая плотность дронов на единицу площади, для детального мониторинга 1 дрон на 0,1–0,4 км², шт./км².

БВС – это техническая система, подверженная периодическим отказам, тогда с учетом коммуникации и координации по формуле (7) [27] определяется количество дронов в рою:

$$N = \frac{1}{1 - P_f} \cdot N_{\min}, \quad (7)$$

где P_f – вероятность отказа дрона составляет 0,1 (принята на основе статистических данных эксплуатации легких дронов, типа Phantom, при этом средняя наработка на отказ составляет около 100–150 ч, а вероятность отказа в течение миссии (30–40 мин) не превышает 0,1) [28].

Если задача требует значительных ресурсов, например ограничение во времени, то используется формула (8) [29]:

$$N = \frac{T}{T_d} \cdot K, \quad (8)$$

где T – время на выполнение мониторинга, мин; T_d – время полета одного БВС, мин; K – коэффициент ротации, например 2 для смены батарей.

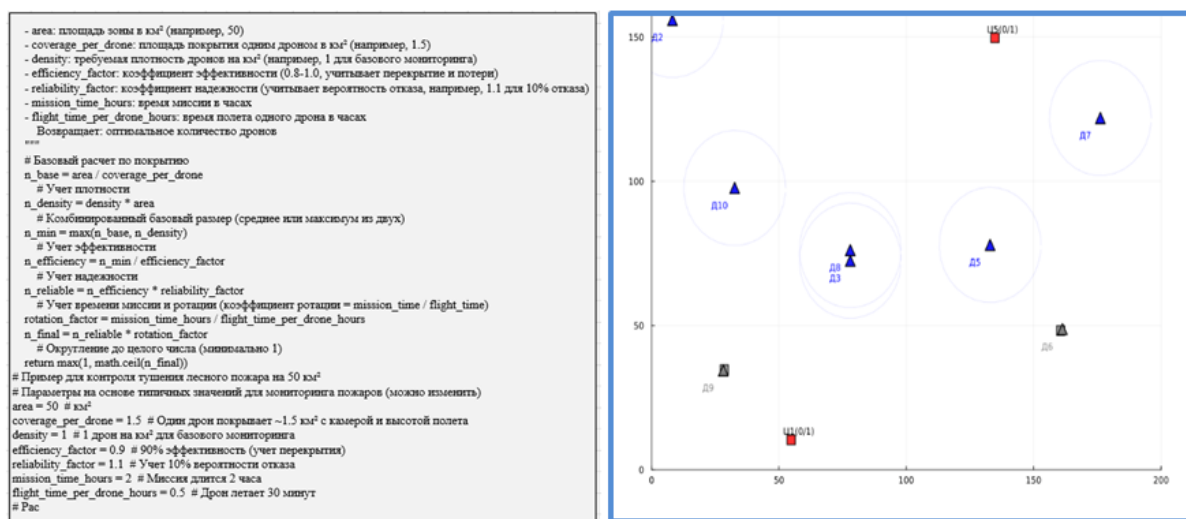


Рис. 7. Листинг-код программы по расчету основных параметров роя дронов

Таким образом, предлагаемая методика способна рассматривать следующие группы параметров:

- управляемые, которые могут быть изменены оператором БВС или системой управления в процессе выполнения задачи по предназначению (количество БВС, высота полета, тип полезной нагрузки, структура управления);
- ограничения, параметры которые заданы внешними условиями и обусловлены техническими характеристиками аппарата БВС (максимальное время полета, дальность связи, пропускная способность канала, метеоусловия и т.д.);
- оптимизируемые параметры, для которых методика позволяет найти наилучшие значения (оптимальное количество БВС, плотность покрытия, число хопов, коэффициент запаса) (табл. 2).

Таблица 2

Основные параметры роя БВС, учитываемые в методике

№ п/п	Категория	Параметр	Пояснение
1	Управляемые	количество БВС в рое	может изменяться в зависимости от задачи
		высота полёта	влияет на площадь обзора и детальность
		тип полезной нагрузки	видеокамера, тепловизор, лидар и т.д.
		структура управления	централизованная / децентрализованная
		маршруты полёта	задаются оператором или автоматически
2	Ограничения	максимальное время полёта	зависит от типа БВС и батареи
		дальность связи	ограничена типом радиоканала
		допустимые метеоусловия	ветер, осадки, температура
		пропускная способность канала	ограничена технологией (Wi-Fi, 4G и др.)
		рельеф местности	влияет на видимость и распространение сигнала
3	Оптимизируемые	оптимальное количество БВС	рассчитывается по формулам (5–8)
		плотность покрытия	определяется требуемой детальностью
		число хопов (ретрансляций)	минимизируется при построении маршрутов
		коэффициент запаса	—

6. Активация режима идентификации.

Полученная информация проходит процесс обработки с последующим отображением объектов на карте и исключением дублирующихся либо ошибочно попавших в зону охвата БВС. Затем, элементам кластеризации присваиваются условные обозначения для их лучшего восприятия.

Отметим, что руководитель тушения пожара (РТП), анализируя оперативную обстановку, может принимать дополнительное решение о включении в воздушную группировку роя БВС дополнительные аппараты.

7. Предполетная подготовка второго БВС.

При необходимости контроля отдельной (второй) зоны может быть привлечен дополнительный аппарат, о чем говорилось ранее. Оператор БВС должен выполнить 1–6 этапы. При этом планшет РТП обладает функцией переключения слоев с наложением высоко детализированной съемки на карту местности. Таким образом, происходит формирование нескольких зон контроля, где красной линией отображается радиус вылета и т.д.

8. Предполетная подготовка последующих *n*-БВС.

Каждый последующий беспилотный аппарат закрывает определенный сегмент территории. При завершении первоначальных (пробных) полетов формируется сегментированное облако данных по выбранному участку с последующим обозначением на планшете РТП. С течением времени условные обозначения могут бледнеть, показывая, что информация теряет актуальность и требуется ее обновление.

9. Завершение полетного задания.

На данном этапе происходит возвращение аппаратов в точку взлета/посадки, выгрузка данных мониторинга в части фиксации объектов контроля. Следует отметить, что выполнение основной задачи не считается завершенным, пока не будут выполнены все сопутствующие (второстепенные) задачи. Можно построить алгоритм таким образом, что БВС смогут возвращаться на базу, обслуживаться и далее приступать к работе. Такая модель позволит оператору сосредоточиться на контроле общего хода операции, а высвободившийся ресурс можно направить на решение других, более приоритетных задач.

Заключение

Научной новизной работы следует отметить:

- предложена методика применения роя БВС для выполнения задач, входящих в компетенцию МЧС России, учитывающие не только технические параметры летательных аппаратов, но и организационные этапы (подготовка, развертывание, документооборот), что критически важно для оперативного (экстренного) реагирования;

- представлен алгоритм динамического перераспределения задач между БВС при выходе одного из строя, повышая отказоустойчивость целой системы;

- обоснованы критерии для расчета оптимального количества БВС в рое, учитывающие площадь покрытия, детального мониторинга, пропускной способности каналов связи и вероятности отказов;

- предложен подход по учету временных затрат на организационные мероприятия, что обеспечивает оценку эффективности применения роя БВС в условиях стремительно развивающихся ЧС.

Таким образом, применение роя БВС позволит повысить эффективность тушения лесных (ландшафтных) пожаров, проведения поисково-спасательных операций, аварийных работ, что достигается за счет:

- информационного обеспечения;
- высокой скорости выполнения задач (охват территории несколькими аппаратами);
- взаимодействия БВС в рое, путем обмена данными, получаемыми с дополнительного полезного оборудования;
- рационального использования ограниченных ресурсов.

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году: информ.-аналит. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. 110 с.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2024 году: информ.-аналит. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с.
3. Беляев А.Э., Бudevич Е.А., Вычерова Н.Р. Система обнаружения лесных пожаров с использованием оптимизированных беспроводных сенсорных сетей Zigbee на солнечных батареях // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 4 (52). С. 87–96.
4. Методические рекомендации по применению беспилотных летательных аппаратов в целях оперативного обнаружения и прогноза опасных природных явления и обеспечения мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС природного и техногенного характера. М., 2016. 98 с.
5. Звягинцева А.В., Яковлев Д.В. Перспективы пространственного анализа в географических информационных системах для прогнозирования риска лесных пожаров на территории воронежской области // Гелиогеофизические исследования. 2014. № 9. С. 78–88.
6. Forest fire detection using optimized solar – powered zigbee wireless sensor networks / U. Arun Ganesh [et al.] // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2013. Vol. 4. Iss. 6. P. 586–596.
7. Использование современных методов прогнозирования, мониторинга и профилактики лесных пожаров в ходе пожароопасного периода в Курской области в 2021 году / А.В. Башаричев [и др.] // Вопросы устойчивого развития общества. 2021. № 7. С. 439–446.
8. Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe / D. Xavier Viegas [et al.] // International Journal of Wildland Fire. 2000. Vol. 9. № A. P. 235–246.
9. Перспективная система мониторинга и прогнозирования состояния космического аппарата на основе анализа интегрированной информации / Н.С. Абрамов [и др.] // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 6. С. 33–48.
10. Кутахов В.П. Парадигма применения групп беспилотных авиационных систем в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2025. Т. 22. № 3 (85). С. 94–102.
11. Mathematical intellectual algorithm for determining the fire hazard parameters of oil and oil refining products / D.S. Korolev [et al.] // AIP Conference Proceedings. Melville, New York. 2021. Vol. 2402. P. 70028. DOI: 10.1063/5.0071917
12. Королев Д.С. Прогнозирование пожароопасных свойств веществ с использованием дескрипторов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2014. № 1 (10). С. 7–10.
13. Дашенко С.В., Копейкин Н.Г., Вагапов Р.Р. Программирование комплекта SDK с использованием API для передачи команд дронам // Специальная техника и технологии транспорта. 2025. № 25. С. 402–409.
14. Пешкова Г.Ю., Плотников Г.А. Взаимодействие автономных беспилотных воздушных судов с использованием технологий искусственного интеллекта // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 8-2. С. 285–289.
15. Исаев А.А., Неугодников К.М. Применение БПЛА в разведывательных и профилактических (патрулирование) целях // Точная наука. 2021. № 118. С. 8–10.
16. Behrendt A., Nakamura T., Tsuda T. Combined temperature lidar for measurements in the troposphere, stratosphere, and mesosphere // Applied optics. 2004. Vol. 43. № 14. P. 2930–2939.
17. Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere series, Springer series in optical sciences / C. Weitkamp (Ed.). New York: Springer, 2005. Vol. 102. 460 p.
18. Behrendt A. Combined Raman lidar for the measurement of atmospheric temperature, water vapor, particle extinction coefficient, and particle backscatter coefficient // Applied Optics. 2002. Vol. 41. № 36. P. 7657–7666.
19. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / пер. с англ.; под ред. Р.Л. Добрушина, О.Б. Лупанова. М.: Иностранная литература, 1963. 832 с.

20. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Советское радио, 1970. 728 с.
21. Bekmezci I., Sahingoz O.K., Temel Ş. Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey // *Ad Hoc Networks*. 2013. Vol. 11. № 3. P. 1254–1270. DOI: 10.1016/j.adhoc.2012.12.004
22. Guillen-Perez A., Cano M.D. Flying Ad Hoc Networks: A New Domain for Network Communications // *Sensors*. 2018. Vol. 18. № 10. P. 3571. DOI: 10.3390/s18103571
23. Sharma V., Kumar R. A cooperative network framework for multi-UAV guided ground ad hoc networks // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2015. Vol. 77. № 3. P. 629–652. DOI: 10.1007/s10846-014-0091-0
24. Моисеев В.С. Групповое применение беспилотных летательных аппаратов. Казань: РИЦ «Школа», 2017. 572 с.
25. Жеребин А.М., Залуговская В.В., Маслова Л.А. Концепция мониторинга поверхности с применением беспилотных летательных аппаратов // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2017. № 11. С. 3–7.
26. Wireless sensor networks: a survey / I.F. Akyildiz [et al.] // *Computer Networks*. 2002. Vol. 38. № 4. P. 393–422. DOI: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4
27. Гончаренко В.И., Лебедев Г.Н., Михайлин Д.А. New algorithm for calculating the required number of unmanned aerial vehicles and the duration of their stay in dangerous area // *Journal of Applied Engineering Science*. 2022. Vol. 20. № 4. P. 1143–1151. DOI: 10.5937/jaes0-36736
28. DJI. White Paper on UAV Reliability and Safety. 2020. 24 p.
29. Зеленцов В.В., Свиридов А.С., Шаповалов Л.А. Метод расчета параметров эффективного размещения точек базирования беспилотных летательных аппаратов // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2014. № 1 (25).

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2023 godu: inform.-analit. sb. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2024. 110 s.
2. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2024 godu: inform.-analit. sb. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2025. 112 s.
3. Belyaev A.E., Budevich E.A., Vycherova N.R. Sistema obnaruzheniya lesnyh pozharov s ispol'zovaniem optimizirovannyh besprovodnyh sensoryh setej Zigbee na solnechnykh batareyah // *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2021. № 4 (52). S. 87–96.
4. Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu bespilotnyh letatel'nyh apparatov v celyah operativnogo obnaruzheniya i prognoza opasnyh prirodnyh yavleniya i obespecheniya meropriyatij po preduprezhdeniyu i likvidacii CHS prirodnogo i tekhnogenного характера. М., 2016. 98 s.
5. Zvyagincheva A.V., Yakovlev D.V. Perspektivy prostranstvennogo analiza v geograficheskikh informacionnyh sistemah dlya prognozirovaniya riska lesnyh pozharov na territorii voronezhskoj oblasti // *Geliogeofizicheskie issledovaniya*. 2014. № 9. S. 78–88.
6. Forest fire detection using optimized solar – powered zigbee wireless sensor networks / U. Arun Ganesh [et al.] // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2013. Vol. 4. Iss. 6. R. 586–596.
7. Ispol'zovanie sovremennyh metodov prognozirovaniya, monitoringa i profilaktiki lesnyh pozharov v hode pozharoopasnogo perioda v Kurskoj oblasti v 2021 godu / A.V. Basharichev [i dr.] // *Voprosy ustojchivogo razvitiya obshchestva*. 2021. № 7. S. 439–446.
8. Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe / D. Xavier Viegas [et al.] // *International Journal of Wildland Fire*. 2000. Vol. 9. № A. P. 235–246.
9. Perspektivnaya sistema monitoringa i prognozirovaniya sostoyaniya kosmicheskogo apparata na osnove analiza integrirovannoj informacii / N.S. Abramov [i dr.] // *Aviakosmicheskoe priborostroenie*. 2015. № 6. S. 33–48.

10. Kutahov V.P. Paradigma primeneniya grupp bespilotnykh aviacionnykh system v hode likvidatsii chrezvychajnykh situatsij // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2025. T. 22. № 3 (85). S. 94–102.
11. Mathematical intellectual algorithm for determining the fire hazard parameters of oil and oil refining products / D.S. Korolev [et al.] // *AIP Conference Proceedings*. Melville, New York. 2021. Vol. 2402. P. 70028. DOI: 10.1063/5.0071917
12. Korolev D.S. Prognozirovaniye pozharoopasnykh svoystv veshchestv s ispol'zovaniem deskriptorov // *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii*. 2014. № 1 (10). S. 7–10.
13. Dashchenko S.V., Kopejkin N.G., Vagapov R.R. Programmirovaniye kompleksa SDK s ispol'zovaniem API dlya peredachi komand dronam // *Special'naya tekhnika i tekhnologii transporta*. 2025. № 25. S. 402–409.
14. Peshkova G.Yu., Plotnikov G.A. Vzaimodejstvie avtonomnykh bespilotnykh vozdukhnykh sudov s ispol'zovaniem tekhnologiy iskusstvennogo intellekta // *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava*. 2022. № 8-2. S. 285–289.
15. Isaev A.A., Neugodnikov K.M. Primeneniye BPLA v razvedyvatel'nykh i profilakticheskikh (patrulirovaniye) tsel'yah // *Tochnaya nauka*. 2021. № 118. S. 8–10.
16. Behrendt A., Nakamura T., Tsuda T. Combined temperature lidar for measurements in the troposphere, stratosphere, and mesosphere // *Applied optics*. 2004. Vol. 43. № 14. P. 2930–2939.
17. Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere series, Springer series in optical sciences / C. Weitkamp (Ed.). New York: Springer, 2005. Vol. 102. 460 p.
18. Behrendt A. Combined Raman lidar for the measurement of atmospheric temperature, water vapor, particle extinction coefficient, and particle backscatter coefficient // *Applied Optics*. 2002. Vol. 41. № 36. P. 7657–7666.
19. Shannon K. Raboty po teorii informatsii i kibernetike / per. s angl.; pod red. R.L. Dobrushina, O.B. Lupanova. M.: Inostrannaya literatura, 1963. 832 s.
20. Fink L.M. Teoriya peredachi diskretnykh soobshchenij. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Sovetskoe radio, 1970. 728 s.
21. Bekmezci I., Sahingoz O.K., Temel Ş. Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey // *Ad Hoc Networks*. 2013. Vol. 11. № 3. P. 1254–1270. DOI: 10.1016/j.adhoc.2012.12.004
22. Guillen-Perez A., Cano M.D. Flying Ad Hoc Networks: A New Domain for Network Communications // *Sensors*. 2018. Vol. 18. № 10. P. 3571. DOI: 10.3390/s18103571
23. Sharma V., Kumar R. A cooperative network framework for multi-UAV guided ground ad hoc networks // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2015. Vol. 77. № 3. P. 629–652. DOI: 10.1007/s10846-014-0091-0
24. Moiseev V.S. Gruppovoe primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov. Kazan': RIC «Shkola», 2017. 572 s.
25. Zherebin A.M., Zalugovskaya V.V., Maslova L.A. Konceptsiya monitoringa poverhnosti s primeneniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov // *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy*. 2017. № 11. S. 3–7.
26. Wireless sensor networks: a survey / I.F. Akyildiz [et al.] // *Computer Networks*. 2002. Vol. 38. № 4. P. 393–422. DOI: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4
27. Goncharenko V.I., Lebedev G.N., Mihajlin D.A. New algorithm for calculating the required number of unmanned aerial vehicles and the duration of their stay in dangerous area // *Journal of Applied Engineering Science*. 2022. Vol. 20. № 4. P. 1143–1151. DOI: 10.5937/jaes0-36736
28. DJI. White Paper on UAV Reliability and Safety. 2020. 24 p.
29. Zelencov V.V., Sviridov A.S., Shapovalov L.A. Metod rascheta parametrov effektivnogo razmeshcheniya toчек bazirovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov // *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovatsii*. 2014. № 1 (25).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 04.12.2025; одобрена после рецензирования: 27.02.2026;
принята к публикации: 02.03.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 04.12.2025; approved after review: 27.02.2026;
accepted for publication: 02.03.2026

Информация об авторах:

Королев Денис Сергеевич, научный сотрудник Воронежского института повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России (394000, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231), кандидат технических наук, доцент, e-mail: otrid@rambler.ru, SPIN-код: 6481-0065

Вытовтов Алексей Владимирович, старший научный сотрудник Воронежского института повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России (394000, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231), кандидат технических наук, доцент, e-mail: taft.RVK@yandex.ru, SPIN-код: 9186-5088

Ильина Надежда Владимировна, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394000, г. Воронеж, ул. 20-лет Октября, д. 84), кандидат технических наук, SPIN-код: 6932-6636

Information about the authors:

Korolev Denis S., researcher of Voronezh institute for advanced training of employees of the State fire service of EMERCOM of Russia (394000, Voronezh, Krasnoznamennaya St., 231), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: otrid@rambler.ru, SPIN: 6481-0065

Vytovtov Aleksey V., senior researcher of Voronezh institute for advanced training of employees of the State fire service of EMERCOM of Russia (394000, Voronezh, Krasnoznamennaya St., 231), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: taft.RVK@yandex.ru, SPIN: 9186-5088

Ilyina Nadezhda V., associate professor of department of technosphere and fire safety of Voronezh state technical university (394000, Voronezh, 20-let Oktyabrya St., 84), candidate of technical sciences, SPIN: 6932-6636