

Научная статья

УДК 614.8 + 623.746.-519; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-73-87

ОПТИМАЛЬНЫЙ НАБОР ДЛЯ КОНФИГУРАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ПРИ СБОРЕ ИНФОРМАЦИИ НА МЕСТЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

✉ Шамсудинов Глеб Юрьевич;

Яровой Вячеслав Юрьевич;

Михайлова Анна Константиновна.

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

✉ gleb.shamsudinov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен подход к формированию специализированных конфигураций беспилотных авиационных систем для задач разведки. На основе анализа статистики пожаров в Российской Федерации, нормативных требований к ведению разведки и ограничений типовой полезной нагрузки беспилотных авиационных систем выделены три приоритетные категории пожаров: ландшафтные пожары, пожары в зданиях жилого назначения и пожары на производственных объектах. Проведен сравнительный анализ перспективных технологий полезной нагрузки, включая СШМ-лидар, гиперспектральную камеру, подвес с ретранслятором связи и радар-обнаружитель. Для рассматриваемых технологий определены условия применимости в задачах разведки. По результатам исследования сформированы три специализированные конфигурации беспилотных авиационных систем – «Город», «Природа» и «Техноген», ориентированные на различные сценарии оперативной обстановки. Показано, что подход к выбору платформы и полезной нагрузки позволяет более полно учитывать характер пожара, условия ведения разведки и состав требуемой информации.

Ключевые слова: тушение пожаров, беспилотные авиационные системы, мониторинг, инновационные технологии, чрезвычайная ситуация, разведка пожара

Для цитирования: Шамсудинов Г.Ю., Яровой В.Ю., Михайлова А.К. Оптимальный набор для конфигурации беспилотных авиационных средств при сборе информации на месте чрезвычайной ситуации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 1 (77). С. 73–87. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-73-87

Scientific article

AN OPTIMAL CONFIGURATION KIT FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR INFORMATION COLLECTION AT THE SCENE OF AN EMERGENCY

✉ Shamsudinov Gleb Yu.;

Yarovoi Vyacheslav Yu.;

Mihailova Anna K.

Siberian fire and rescue academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

✉ gleb.shamsudinov@mail.ru

Abstract. This article examines an approach to developing specialized unmanned aerial system configurations for fire reconnaissance missions. Based on an analysis of fire statistics in the Russian Federation, regulatory requirements for reconnaissance, and limitations of typical of unmanned aerial system payloads, three priority fire categories are identified: landscape fires, residential building fires, and industrial fires. A comparative analysis of promising payload technologies is conducted, including a SLM lidar, a hyperspectral camera, a gimbal with a communications repeater, and a radar detector. The applicability conditions for fire reconnaissance missions for these technologies are determined. Based on the study's results, three specialized of unmanned aerial system configurations – City, Nature, and Technogenic – are developed, tailored to various operational scenarios. It is demonstrated that this approach to platform and payload selection allows for a more comprehensive consideration of the nature of the fire, reconnaissance conditions, and the composition of the required information.

Keywords: fire extinguishing, unmanned aerial system, monitoring, innovative technologies, management solutions, fire exploration

For citation: Shamsudinov G.Yu., Yarovoi V.Yu., Mihailova A.K. An optimal configuration kit for unmanned aerial vehicles for information collection at the scene of an emergency // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 1 (77). P. 73–87. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-1-73-87

Введение

Современные методы ведения боевых действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ сопряжены с высоким риском для жизни и здоровья личного состава [1]. Одной из ключевых проблем, стоящих перед руководителем тушения пожара (РТП), является получение полной, объективной и своевременной информации об обстановке [2]. Традиционные методы разведки, такие как визуальный осмотр и получение информации с помощью радиообмена, часто ограничены зоной прямой видимости, воздействием опасных факторов пожара и человеческим фактором, что затрудняет принятие эффективных управленческих решений [3].

В последние годы технологии беспилотных авиационных систем (БАС) все чаще используются для процесса управления силами и средствами на месте пожара [4–6]. Интеграция БАС в систему поддержки принятия решений позволяет вести мониторинг обстановки с безопасного расстояния, получать данные из недоступных для человека точек и существенно повышать ситуационную осведомленность РТП. Это открывает новые возможности для успешного управления боевыми действиями и минимизации рисков.

Несмотря на расширение доступности БАС, их применение в деятельности пожарно-спасательных подразделений нередко носит несистемный характер. Проблема заключается не столько в наличии самой беспилотной платформы, сколько в отсутствии обоснованного подхода к формированию ее полезной нагрузки [7]. На практике широко используются

универсальные решения, оснащенные стандартными средствами наблюдения, прежде всего оптическими и тепловизионными камерами, эффективность которых ограничена в специфических условиях различных типов пожаров. Такой подход не обеспечивает полной реализации функционального потенциала БАС, поскольку не учитывает возможность применения перспективных модулей, способных расширить состав получаемой информации. Отсутствие четких рекомендаций по формированию специализированных конфигураций БАС приводит к неполному использованию их возможностей и не позволяет в полной мере удовлетворить информационные потребности развивающихся адаптивных систем поддержки принятия управленческих решений на месте тушения пожара (пожарная разведка). В связи с этим целью настоящей работы является разработка подхода к формированию специализированных конфигураций БАС на основе анализа перспективных технологий, пригодных для интеграции в состав полезной нагрузки в интересах повышения эффективности сбора информации на месте пожара.

Методы исследования

Для обоснования необходимости разработки специализированных конфигураций БАС был проведен анализ статистических данных по пожарам в Российской Федерации за 2024 г. [8]. Цель анализа – выявить ключевые категории пожаров, предъявляющие особые требования к ведению разведки.

Первичный анализ распределения пожаров показывает, что наибольшее их количество приходится на открытые территории (рис. 1).

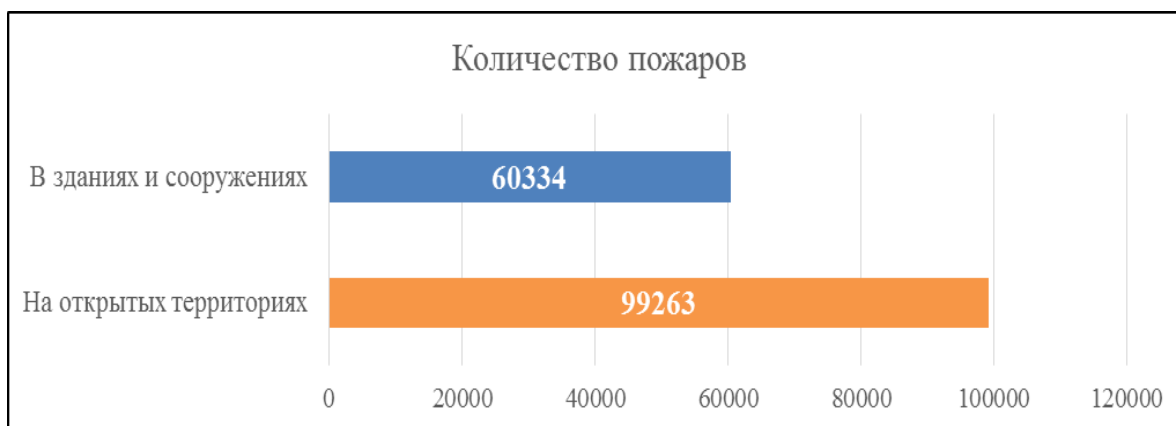


Рис. 1. Количество пожаров по типам территорий

Статистические данные наглядно демонстрируют доминирование ландшафтных (природных) пожаров над пожарами в зданиях и сооружениях по частоте возникновения. Это определяет потребность в средствах мониторинга, способных работать на больших площадях в течение длительного времени. Таким образом, первым выделяемым типом полезной нагрузки является конфигурация для мониторинга ландшафтных пожаров.

Несмотря на численное превосходство ландшафтных пожаров, именно пожары в зданиях и сооружениях несут высокий социально-экономический риск для страны. На рис. 2 показано распределение таких пожаров по видам зданий.

На основе анализа распределения пожаров по видам зданий наглядно показано, что количество пожаров в жилых зданиях значительно превышает суммарные показатели всех остальных категорий. Данное обстоятельство позволяет авторам выделить второй тип полезной нагрузки для БАС при проведении разведки на пожарах, ориентированный именно на условия жилой застройки.

Кроме того, анализ специфики других составляющих графика показывает, что к данной категории также могут быть отнесены пожары в объектах здравоохранения, предприятиях торговли и административных зданиях, поскольку им характерны те же ключевые маркеры, что и для жилых зданий: высокая плотность застройки, наличие людей, сложность доступа и необходимость точного позиционирования в стеснённых условиях. Стоит отметить, что данные пожары сопряжены с наивысшим риском гибели и травматизма людей [9].

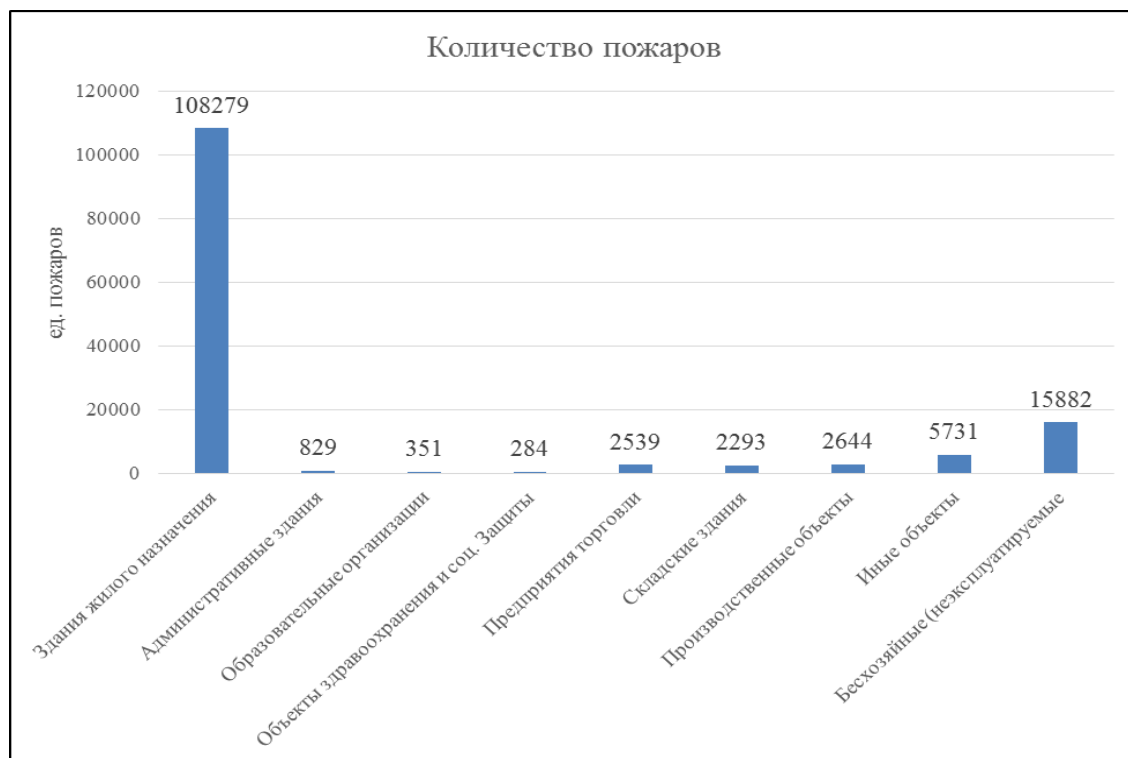


Рис. 2. Обстановка с пожарами в зданиях и сооружениях

Третью группу составляют производственные объекты, сельские и бесхозные здания. Несмотря на меньшую частоту по сравнению с жилым сектором, пожары на промышленных объектах характеризуются масштабностью, сложностью планировки, высоким экономическим ущербом и потенциальной опасностью вторичных факторов (взрывы, выбросы химических веществ) [10]. Для сельских и бесхозных территорий ключевыми являются удалённость от инфраструктуры и большие площади. В совокупности это обосновывает выделение третьего типа полезной нагрузки – с приоритетом дальности действия, автономности, газоанализаторов и средств картографирования.

Таким образом, по результатам анализа выделены три категории пожаров, различающиеся оперативной обстановкой и составом необходимой для управления информацией: ландшафтные пожары, пожары в жилых зданиях и пожары на производственных объектах.

Для каждой из выделенных категорий состав информации, подлежащей установлению в ходе разведки согласно Боевому уставу [2], имеет существенные различия, обусловленные спецификой оперативной обстановки. Однако в соответствии с нормативным документом РТП обязан определить на любом пожаре:

- наличие и возможность угрозы людям, их местонахождение;
- наличие и возможность вторичных проявлений опасных факторов пожара, в том числе взрывов и обрушения конструкций;
- место и площадь горения, а также пути распространения огня.

Как показал анализ литературы [11–12], существующие наборы полезной нагрузки БАС, применяемые в подразделениях пожарной охраны, ограничены типовыми модулями, включающими:

1. Оптические камеры (для аэрофотосъемки и визуального мониторинга с воздуха).
2. Тепловизоры (для обнаружения тепловых аномалий сквозь дымовую завесу).
3. Газоанализаторы (для проб воздуха на наличие токсичных веществ).

Указанные средства обеспечивают решение базовых задач воздушного наблюдения, однако их информативность ограничена при сложных сценариях пожара [7]. Применение оптических и тепловизионных средств в значительной степени зависит от условий прямой видимости и подвержено влиянию дыма, пара, обломков и иных помех, что затрудняет выявление скрытых угроз, включая обнаружение пострадавших и оценку состояний конструкций [3]. Вследствие этого объем данных, поступающих руководителю тушения пожара, в ряде случаев оказывается недостаточным для принятия обоснованных управленческих решений [1].

Особую критику вызывает применение газоанализаторов, которое в ряде случаев оказывается не только неэффективным, но и потенциально опасным. При тушении пожаров, связанных с разливом аварийно химически опасных веществ (АХОВ), газоанализатор требует прямого введения БАС в зону загрязнения для отбора проб [13], что усугубляет неопределенность: АХОВ могут быть тяжелее воздуха (накапливаясь в низинах) или легче (распространяясь по верхним слоям), создавая неоднородные градиенты концентрации. Более того, во взрывоопасных средах (например, при наличии легковоспламеняющихся паров) работа электроники газоанализатора или даже искрообразование от моторов БАС может спровоцировать детонацию.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о необходимости пересмотра традиционного состава полезной нагрузки БАС для задач разведки.

С учетом выявленных ограничений формирование специализированных конфигураций БАС в настоящем исследовании осуществлялось на основе последовательного анализа двух групп параметров: характеристик авиационной платформы и функциональных возможностей полезной нагрузки. При выборе платформ учитывались продолжительность полета, маневренность, возможность зависания, площадь контролируемой территории и ограничения по условиям применения. При выборе перспективных технологий учитывались их соответствие задачам разведки, возможность дистанционного получения информации, устойчивость к факторам пожара и ограничениям среды, а также интегрируемость в состав БАС.

В рамках исследования рассмотрены два типа платформ, наиболее целесообразных для решения задач разведки: мультироторные системы и БАС самолетного типа (рис. 3).

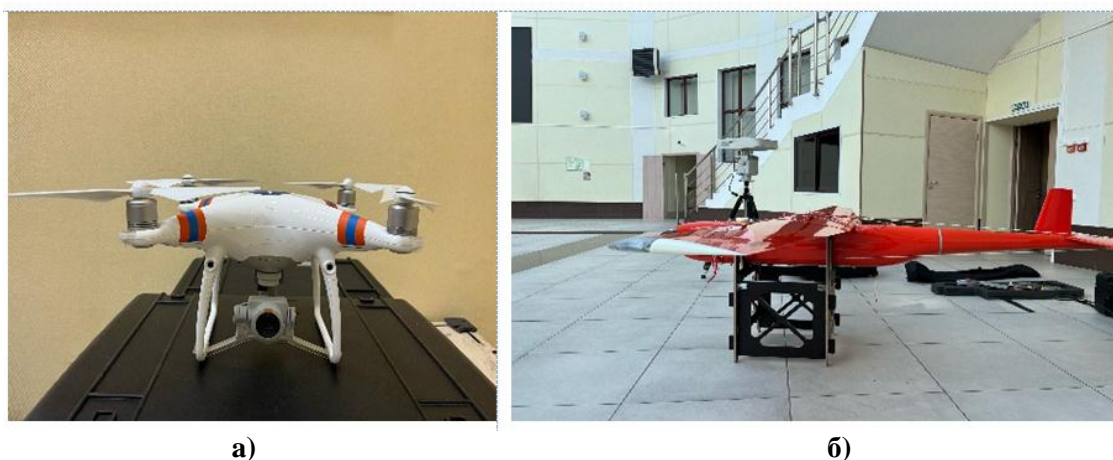


Рис. 3. Платформы БАС по типу летательного аппарата, используемые в Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России: а – мультироторные; б – самолетного типа

Мультироторные системы являются наиболее распространенным типом БАС в пожарно-спасательных подразделениях благодаря способности к вертикальному взлету и посадке VTOL [14], а также возможности зависания в заданной точке. Указанные свойства определяют их применимость для обследования высотных зданий, работы в условиях плотной городской застройки и детальной разведки локальных участков. Ограничениями данного типа платформ являются сравнительно небольшая продолжительность полета и невысокая скорость перемещения, что снижает их эффективность при мониторинге крупных ландшафтных пожаров. БАС типа FPV (First Person View) в настоящем исследовании не рассматриваются, поскольку отсутствие необходимой стабилизации ограничивает их применение для задач разведки.

БАС самолетного типа, напротив, способны покрывать значительные расстояния и находиться в воздухе несколько часов. Это делает их оптимальным выбором для патрулирования лесных массивов, контроля кромки крупных природных пожаров и проведения разведки на большой площади. Ключевым недостатком является необходимость наличия взлетно-посадочной полосы или специального стартового устройства (рогатки), что ограничивает их применение в неподготовленных условиях [16].

В качестве исходного множества для отбора были рассмотрены семь классов технических решений, применяемых в составе полезной нагрузки БАС: оптические камеры, тепловизоры, газоанализаторы, лидарные системы, гиперспектральные камеры, воздушные ретрансляторы связи и радарные средства. Такой состав соответствует современным обзорным работам по полезной нагрузке БАС [17, 18]. С учетом того, что оптические камеры, тепловизоры и газоанализаторы уже относятся к типовой полезной нагрузке БАС, применяемых в подразделениях пожарной охраны МЧС России, для дальнейшего анализа были отобраны четыре дополнительные технологии, не входящие в стандартную конфигурацию и позволяющие компенсировать выявленные дефициты разведывательной информации: СШМ-лидар, гиперспектральная камера, подвес с ретранслятором связи и радар-обнаружитель. Выбор указанных технологий также согласуется с современными работами по применению БАС в спасательных операциях экстренных служб зарубежных стран [19]. Их исходные области применения и предполагаемые функции в задачах разведки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Адаптация перспективных модулей для задач разведки

Модуль	Основное применение (цель создания)	Применение при разведке
СШМ-лидар	Геодезия, картография, создание трехмерной карты	Создание трехмерной модели здания в реальном времени для его последующего анализа
Гиперспектральная камера	Сельское хозяйство, геология, определение химического состава исследуемого образца	Идентификация горящих химических веществ по их спектральной сигнатуре
Ретранслятор связи	Расширение зоны покрытия сотовой/радиосвязи (в зависимости от волн)	Обеспечение устойчивой радиосвязи в зоне ЧС. БАС выступает в роли мобильной вышки связи
Радар-обнаружитель	Военная разведка, антитеррористические операции	Позволяет определить точное местоположение пострадавших

На основе данных, представленных в табл. 1, можно утверждать, что эти технологии обладают значительным потенциалом для решения задач разведки. Для научного обоснования их включения в предлагаемые наборы конфигурации необходимо детально рассмотреть физические принципы их работы и адаптивные возможности.

СШМ-лидар (сканирующий широкополосный-модуляционный лидар) представляет собой активную оптическую систему, предназначенную для построения пространственной модели объекта в реальном времени [20]. Применительно к задачам разведки его использование представляет интерес при оценке геометрии помещений, состояния строительных конструкций и выявлении потенциально опасных участков. В качестве минимальных условий применимости лидарной технологии в задымленной среде следует рассматривать сохранение информативности отраженного сигнала, соответствие рабочей дальности типовым дистанциям разведки и достаточность параметров излучения для выделения объекта на фоне дымовой среды. По данным [21], для активной оптико-электронной системы, работавшей на длине волны 850 нм, при пиковом импульсе 320 Вт, длительности импульса около 60 нс и частоте 5 000–10 000 Гц обеспечивалось распознавание объекта на расстоянии 27 м при удельной оптической плотности дыма до 1,13 дБ/м. Следовательно, использование лидарных решений при разведке целесообразно при таких параметрах системы и среды, которые обеспечивают формирование достоверной пространственной модели объекта. Блок-схема применения СШМ-лидара при проведении разведки представлена на рис. 4.

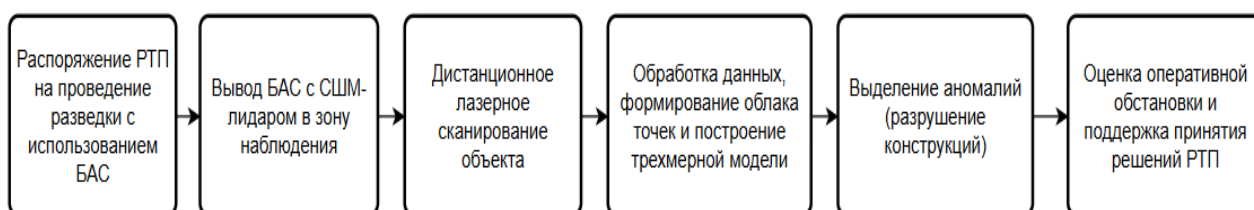


Рис. 4. Блок-схема применения СШМ-лидара при проведении разведки

Гиперспектральная камера обеспечивает регистрацию изображения в узких спектральных диапазонах и позволяет анализировать спектральные сигнатуры наблюдаемых веществ [22]. Применительно к задачам разведки данная технология представляет интерес для дистанционной идентификации горючих и химически опасных веществ. В качестве минимальных условий ее применимости следует рассматривать соответствие рабочего спектрального диапазона диагностическим признакам вещества, достаточное спектральное разрешение и приемлемую дистанцию съемки. По данным [23], для дистанционной идентификации опасных веществ использовались гиперспектральные камеры диапазонов 400–1 000 нм и 1 000–2 500 нм со спектральным разрешением 3,7 нм и 6 нм соответственно при съемке с высоты около 12 м, следовательно, следует принимать данные значения как минимальные. Блок-схема применения гиперспектральной камеры при проведении разведки представлена на рис. 5.

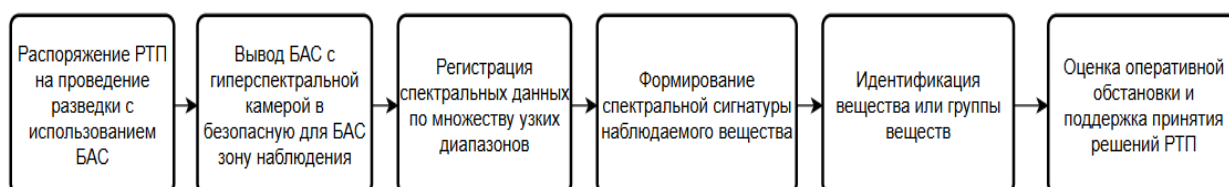


Рис. 5. Блок-схема применения гиперспектральной камеры при проведении разведки

Подвес с ретранслятором связи позволяет использовать БАС в качестве воздушного узла передачи сигнала [24]. В качестве минимальных условий применимости данной технологии следует рассматривать совместимость рабочего диапазона с используемыми средствами связи, полосу канала не менее 10 МГц, рабочие частоты уровня 723–778 МГц, высоту размещения порядка 300 м и мощность передачи не ниже 23 дБм от абонента к ретранслятору и 36 дБм от ретранслятора к абоненту. По данным опубликованных исследований [25], при указанных параметрах обеспечивалась устойчивая работа воздушной станции связи с достижением скоростей до 22 Мбит/с от абонента к ретранслятору и 8 Мбит/с от ретранслятора к абоненту на расстоянии 1 км, а также сохранением связи на дистанции до 5 км. Использование подвеса с ретранслятором связи наиболее целесообразно в тех случаях, когда параметры радиоканала и высота размещения БАС обеспечивают требуемую зону устойчивой связи. Блок-схема применения подвеса с ретранслятором при проведении разведки представлена на рис. 6.

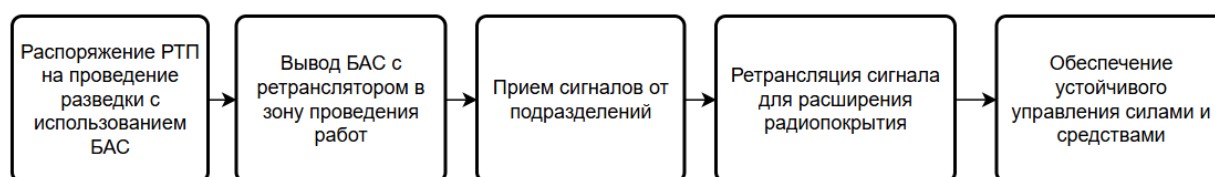


Рис. 6. Блок-схема применения ретранслятора при проведении разведки

Радар-обнаружитель относится к средствам дистанционного выявления объектов за неметаллическими преградами и может использоваться при поиске пострадавших в завалах и помещениях с ограниченной видимостью [26]. Минимальными условиями применимости данной технологии следует считать использование широкополосного радара с полосой не менее 500 МГц, работу в диапазоне, обеспечивающем проникновение через неметаллические преграды, а также такие параметры системы и среды, при которых сохраняется выделение сигнала человека на фоне отражений от конструкций. По данным опубликованных исследований [27], для задач обнаружения за преградами применялись UWB-радары (радары для получения сигналов жизненно важных показателей) с полосой не менее 500 МГц; в одном из экспериментов использовался радар с центральной частотой 4,3 ГГц и полосой 2,3 ГГц, обеспечивавший обнаружение человека за кирпичными и бетонными стенами. Использование радара-обнаружителя наиболее целесообразно при поиске пострадавших за неметаллическими преградами в условиях городской застройки. Блок-схема применения радара-обнаружителя при проведении разведки представлена на рис. 7.



Рис. 7. Блок-схема применения радара-обнаружителя при проведении разведки

Таким образом, проведенный анализ позволяет перейти к формированию специализированных конфигураций БАС, в которых выбор платформы и полезной нагрузки определяется типом пожара, условиями ведения разведки и характером требуемой информации.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе проведенного анализа типов пожаров, условий ведения разведки и функциональных возможностей рассмотренных технологий сформированы три специализированные конфигурации БАС, ориентированные на применение в городской среде, при ландшафтных пожарах и на производственных объектах. Выбор платформы и полезной нагрузки в каждом случае определяется характером оперативной обстановки и приоритетной информационной задачей разведки. Сформированные конфигурации представлены на рис. 8.

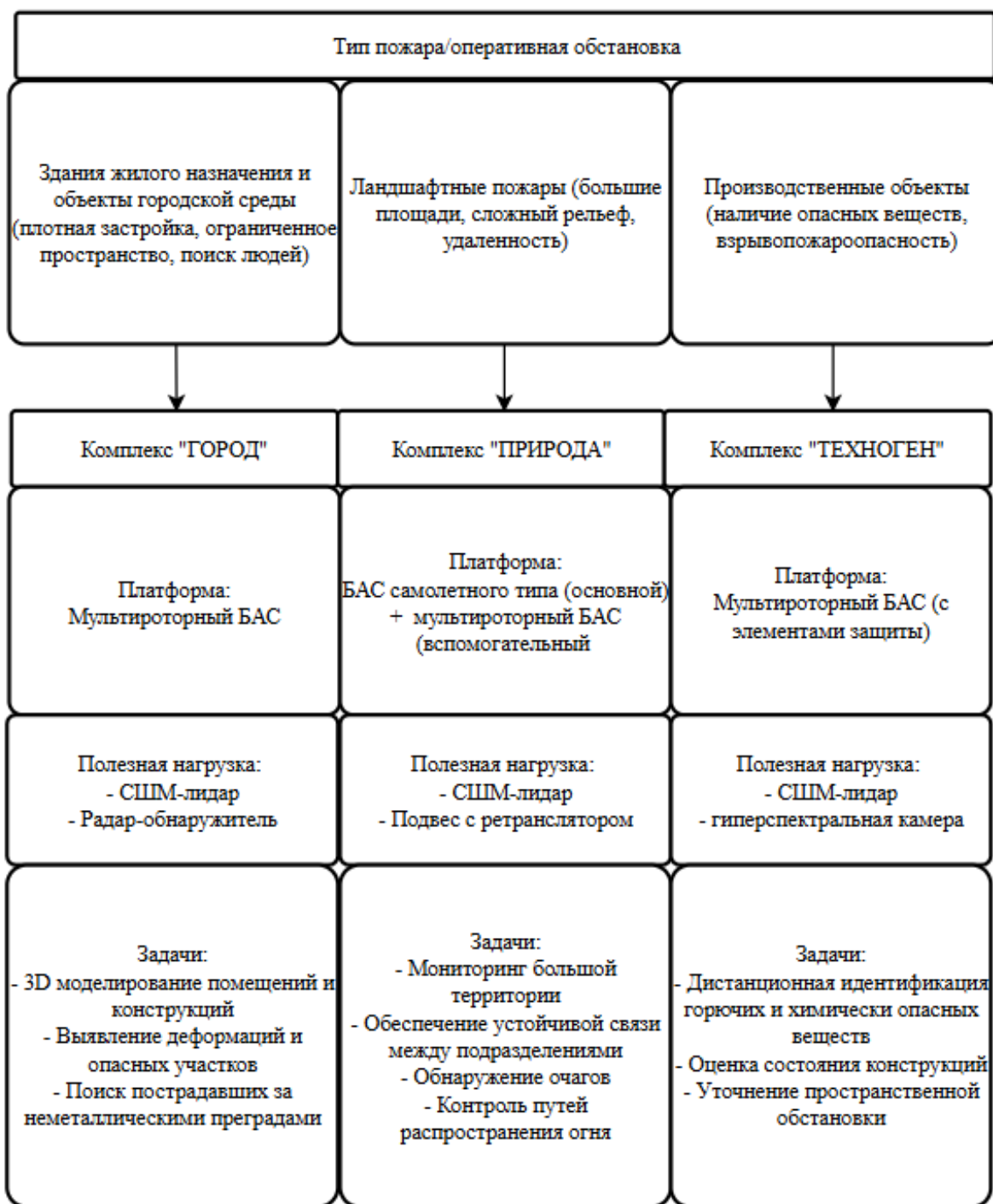


Рис. 8. Структурная схема специализированных конфигураций БАС для задач разведки

Комплекс «Город»

Данная конфигурация предназначена для применения в условиях плотной городской застройки, где при проведении разведки требуется получение информации о состоянии строительных конструкций и возможном местонахождении пострадавших. Использование мультиторного БАС обусловлено его маневренностью, возможностью зависания и работы в ограниченном пространстве. СШМ-лидар в составе комплекса применяется для дистанционной оценки геометрии помещений, состояния конструкций и выявления потенциально опасных участков. Радар-обнаружитель используется для поиска пострадавших за неметаллическими преградами и в условиях ограниченной видимости. Комплекс ориентирован на повышение полноты разведывательной информации при пожарах в зданиях жилого назначения и иных объектах городской среды.

Комплекс «Природа»

Данная конфигурация предназначена для применения при ландшафтных пожарах, характеризующихся большой площадью наблюдения и рассредоточением сил и средств. Использование БАС самолетного типа обусловлено его способностью выполнять мониторинг на значительной территории в течение длительного времени. СШМ-лидар применяется для пространственной оценки рельефа местности, границ опасных участков и, при наличии соответствующего режима работы системы, для выявления температурных аномалий и контроля параметров дымовой среды. Подвес с ретранслятором связи используется для обеспечения устойчивого радиообмена между подразделениями в условиях сложного рельефа местности и удаленности участков тушения. Комплекс ориентирован на повышение полноты контроля обстановки, устойчивости управления и точности оценки параметров ландшафтного пожара. Возможно подключение искусственного интеллекта [28] на основной БАС самолетного типа для более быстрого и качественного обнаружения очагов пожара.

Комплекс «Техноген»

Данная конфигурация предназначена для применения на производственных объектах, где в ходе пожара или аварии возможно присутствие горючих и химически опасных веществ. Использование мультиторного БАС обусловлено его маневренностью и возможностью работы в ограниченном пространстве. Гиперспектральная камера применяется для дистанционной идентификации веществ по их спектральным признакам без введения БАС непосредственно в опасную зону. СШМ-лидар используется для оценки пространственной структуры объекта, состояния конструкций и выявления потенциально опасных участков. Комплекс ориентирован на получение данных о характере опасного вещества, пространственной обстановке и вторичных опасных факторах на производственных объектах.

В табл. 2 представлены минимальные числовые условия, при которых возможно применение модулей, включенных в состав специализированных конфигураций БАС, по данным опубликованных исследований, описанных ранее.

**Минимальные числовые условия применимости модулей
специализированных конфигураций БАС**

Комплекс	Модули полезной нагрузки	Минимальные числовые условия применимости
Город	СШМ-лидар + радар-обнаружитель	СШМ-лидар: λ 850 нм; пиковая мощность импульса 320 Вт; длительность импульса ≈ 60 нс; частота 5 000–10 000 Гц; дальность наблюдения 27 м; удельная оптическая плотность дыма до 1,13 дБ/м [21]. Радар-обнаружитель: центральная частота 4,3 ГГц; полоса 2,3 ГГц; минимальная UWB-полоса – не менее 500 МГц [27]
Природа	СШМ-лидар + подвес с ретранслятором связи	СШМ-лидар: λ 850 нм; пиковая мощность 320 Вт; длительность импульса ≈ 60 нс; частота 5 000–10 000 Гц; дальность наблюдения 27 м [21]. Ретранслятор связи: рабочие частоты 723–778 МГц; полоса канала 10 МГц; мощность передачи не ниже 23 dBm по восходящему и 36 dBm по нисходящему каналу; высота размещения около 300 м; устойчивая связь до 5 км [25]
Техноген	Гиперспектральная камера + СШМ-лидар	Гиперспектральная камера: диапазоны 400–1 000 нм и 1 000–2 500 нм; спектральное разрешение 3,7–6 нм; высота съемки около 12 м [23]. СШМ-лидар: λ 850 нм; пиковая мощность 320 Вт; длительность импульса ≈ 60 нс; частота 5 000–10 000 Гц; дальность наблюдения 27 м [21]

Заключение

В ходе исследования проведен анализ платформ и модулей полезной нагрузки БАС, применяемых в задачах разведки. Установлено, что использование типовых конфигураций не во всех случаях обеспечивает получение информации, необходимой для РТП. На основе анализа перспективных технологий полезной нагрузки сформированы три специализированные конфигурации БАС: «Город», «Природа» и «Техноген».

Предлагаемый подход ориентирован на более полное соответствие состава полезной нагрузки условиям ведения разведки и характеру требуемой информации.

Список источников

1. Иванников А.А. Методы и средства обеспечения пожарной безопасности пожарных при ведении боевых действий в зданиях повышенной этажности // Евразийский научный журнал. 2022. № 9. С. 29–31.
2. Об утверждении боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России от 16 сент. 2024 г. № 777. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Горбунов А.А., Терехин С.Н., Гусаков С.А. Новые технологии ведения разведки пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 3 (51). С. 56–63. EDN WJBVRH.
4. Ахмедьянов А.Р., Крадинов А.Г. Анализ применения БВС при разведке пожара // Применение авиационно-спасательных технологий для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: сб. трудов секции XXXIV Междунар. науч.-практ. конф. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2024. С. 12–17. EDN JGHNDY.
5. Осипов Ю.Н., Ершов В.И., Панфилова Е.В. Особенности организации функционирования в условиях чрезвычайных ситуаций подразделений и расчетов МЧС России, имеющих на вооружении беспилотные авиационные системы // Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 65–71. EDN UXMCJA.
6. Романов С.В., Басуматорова Е.А. Применение беспилотных авиационных систем МЧС России во время поисково-спасательных работ и тушения пожара, на примере Ишимского

- района Тюменской области // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 1 (28). С. 103–110. EDN XSGMTF. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.71.97.007
7. Гайнуллин Т.Ф., Михеева Е.В. Оценка эффективности применения беспилотных летательных аппаратов при проведении разведки природных пожаров // Пожарная безопасность. 2024. № 2 (115). С. 84–93. EDN NTSHJG. DOI: 10.37657/vniipr.pb.2024.115.2.009
8. Ступина М.В. Чрезвычайные ситуации и пожары в России в 2024 году: тенденции, структура и факторы реагирования // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2025. № 2 (54). С. 49–58. EDN ZVYKST. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-2-49-58
9. Игайкина И.И., Маслов С.А. Основные причины и условия гибели людей при пожарах на объектах жилого сектора // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2019. С. 615–621. EDN WYEABN.
10. Шишов М.Д. Статистические данные по пожарам, произошедших на промышленных объектах // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: сб. материалов II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. С. 252–256. EDN EMHPAU.
11. Макаров М.С., Матвейчев В.Н. Перспективы использования и развития беспилотных летательных аппаратов в системе МЧС России // Пожарная и аварийная безопасность: сб. материалов XIX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 375-летию пожарной охраны России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 491–496. EDN RDCAUM.
12. Мухаметов И.И., Москвитин М.Я., Айталиев А.А. Применение беспилотных авиационных систем при проведении аварийно-спасательных работ // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. "Системы безопасности". 2019. № 28. С. 140–143. EDN FBNLHY.
13. Использование газоанализаторов для контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферу / В.П. Долгих [и др.] // Экологический вестник Донбасса. 2025. № 14.
14. Ducard G.J.J., Allenspach M. Review of designs and flight control techniques of hybrid and convertible VTOL UAVs // Aerospace Science and Technology. 2021. Т. 118. С. 107035. DOI: 10.1016/j.ast.2021.107035.
15. First person view drone-FPV / A. Usama [et al.] // The International Undergraduate Research Conference. The Military Technical College, 2021. Т. 5. № 5. С. 437–440.
16. An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement / L. Merino [et al.] // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2012. Т. 65. № 1. С. 533–548. DOI: 10.1007/s10846-011-9560-x
17. Kumar S.S.G., Gudipalli A.A comprehensive review on payloads of unmanned aerial vehicle // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. 2024. Т. 27. № 4. С. 637–644. DOI: 10.1016/j.ejrs.2024.08.001
18. Antonakakis M., Zervakis M. Advances in Unmanned Aerial Vehicle-Based Sensing and Imaging // Sensors. 2024. Vol. 24. № 24. Art. 8094. DOI: 10.3390/s24248094
19. Review of the Application of UAV Edge Computing in Fire Rescue / H. Sun [et al.] // Sensors. 2025. Vol. 25. № 11. Art. 3304. DOI 10.3390/s25113304
20. Huang L. Review on LiDAR-based SLAM techniques // 2021 International conference on signal processing and machine learning (CONF-SPML). IEEE, 2021. С. 163–168. DOI: 10.1109/CONF-SPML54095.2021.00040
21. Оптико-электронная система для улучшения видимости при задымлении / А.В. Суриков [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2014. № 2 (20). С. 4–12. EDN SWENLB.
22. Hyperspectral camera system: acquisition and analysis / G.J. Brelstaff [et al.] // Geographic Information Systems, Photogrammetry, and Geological/Geophysical Remote Sensing. SPIE, 1995. Т. 2587. С. 150–159. DOI: 10.1117/12.226819

23. Hazardous Noxious Substance Detection Based on Ground Experiment and Hyperspectral Remote Sensing / J.-J. Park [et al.] // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. № 2. Art. 318. DOI: 10.3390/rs13020318

24. Unmanned aerial vehicle as communication relay for autonomous underwater vehicle – Field tests / T.A. Johansen [et al.] // *2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. IEEE, 2014. C. 1469–1474. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2014.7063641

25. A systematic literature review of emergency communications assisted by unmanned aerial vehicles / I. López-Villegas [et al.] // *Ad Hoc Networks*. 2026. Vol. 182. Art. 104063. DOI: 10.1016/j.adhoc.2025.104063

26. Thermovision and ground penetrating radar for investigation of architectural decorations–potential and limitations / A. Cupa [et al.] // *Proceedings of the 11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography (QIRT 2012)*, Naples, Italy. 2012. C. 11–14. DOI: 10.21611/qirt.2012.120

27. Sense through wall human detection using UWB radar / S. Singh [et al.] // *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2011. Vol. 2011. Art. 20. DOI: 10.1186/1687-1499-2011-20

28. Гребнев Я.В., Яровой А.В. Мониторинг и прогнозирование паводков на территории Красноярского края использованием нейросетевых алгоритмов // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2018. № 3 (10). С. 13–16. EDN YLRUBF.

References

1. Ivannikov A.A. Metody i sredstva obespecheniya pozharnoj bezopasnosti pozharnyh pri vedenii boevyh dejstvij v zdaniyah povyshennoj etazhnosti // *Evrazijskij nauchnyj zhurnal*. 2022. № 9. С. 29–31.

2. Ob utverzhdenii boevogo ustava podrazdelenij pozharnoj ohrany, opredelyayushchego poryadok organizacii tusheniya pozharov i provedeniya avarijno-spatatel'nyh rabot: prikaz MCHS Rossii ot 16 sent. 2024 g. № 777. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

3. Gorbunov A.A., Terekhin S.N., Gusakov S.A. Novye tekhnologii vedeniya razvedki pozharov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2019. № 3 (51). S. 56–63. EDN WJBBPH.

4. Ahmed'yanov A.R., Kradinov A.G. Analiz primeneniya BVS pri razvedke pozhara // *Primenenie aviacionno-spatatel'nyh tekhnologij dlya preduprezhdeniya i likvidacii chrezvyčajnyh situacij: sb. trudov sekcii HKHXIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Himki: Akademiya grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii im. general-lejtenanta D.I. Mihajlika*, 2024. S. 12–17. EDN JJGHDY.

5. Osipov Yu.N., Ershov V.I., Panfilova E.V. Osobennosti organizacii funkcionirovaniya v usloviyah chrezvyčajnyh situacij podrazdelenij i raschetov MCHS Rossii, imeyushchih na vooruzhenii bespilotnye aviacionnye sistemy // *Pozharnaya bezopasnost'*. 2019. № 1. S. 65–71. EDN UXMCJA.

6. Romanov S.V., Basumatorova E.A. Primenenie bespilotnyh aviacionnyh sistem MCHS Rossii vo vremya poiskovo-spatatel'nyh rabot i tusheniya pozhara, na primere Ishimskogo rajona Tyumenskoj oblasti // *Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik*. 2023. № 1 (28). S. 103–110. EDN XSGMTF. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.71.97.007

7. Gajnullin T.F., Miheeva E.V. Ocenka effektivnosti primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov pri provedenii razvedki prirodnyh pozharov // *Pozharnaya bezopasnost'*. 2024. № 2 (115). S. 84–93. EDN NTSHJG. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2024.115.2.009

8. Stupina M.V. Chrezvyčajnyye situacii i pozhary v Rossii v 2024 godu: tendencii, struktura i faktory reagirovaniya // *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)*. 2025. № 2 (54). S. 49–58. EDN ZVYKST. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-2-49-58

9. Igajkina I.I., Maslov S.A. Osnovnye prichiny i usloviya gibeli lyudej pri pozharah na ob"ektah zhilogo sektora // *Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Saransk: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogaryova*, 2019. S. 615–621. EDN WYEABN.
10. Shishov M.D. Statisticheskie dannye po pozharom, proizoshedshih na promyshlennyh ob"ektah // *Estestvennye nauki i pozharobezopasnost': problemy i perspektivy issledovanij: sb. materialov II Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii*, 2025. S. 252–256. EDN EMHPAU.
11. Makarov M.S., Matveichev V.N. Perspektivy ispol'zovaniya i razvitiya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v sisteme MCHS Rossii // *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost': sb. materialov XIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 375-letiyu pozharnoj ohrany Rossii. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii*, 2024. S. 491–496. EDN RDCAUM.
12. Muhametov I.I., Moskvitin M.Ya., Ajtaliev A.A. Primenenie bespilotnyh aviacionnyh sistem pri provedenii avarijno-spasatel'nyh rabot // *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Sistemy bezopasnosti". 2019. № 28. S. 140–143. EDN FBNLHY.*
13. Ispol'zovanie gazoanalizatorov dlya kontrolya vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferu / V.P. Dolgih [i dr.] // *Ekologicheskij vestnik Donbassa*. 2025. № 14.
14. Ducard G.J.J., Allenspach M. Review of designs and flight control techniques of hybrid and convertible VTOL UAVs // *Aerospace Science and Technology*. 2021. T. 118. S. 107035. DOI: 10.1016/j.ast.2021.107035
15. First person view drone-FPV / A. Usama [et al.] // *The International Undergraduate Research Conference. The Military Technical College*, 2021. T. 5. № 5. S. 437–440.
16. An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement / L. Merino [et al.] // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2012. T. 65. № 1. S. 533–548. DOI: 10.1007/s10846-011-9560-x
17. Kumar S.S.G., Gudipalli A. A comprehensive review on payloads of unmanned aerial vehicle // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 2024. T. 27. № 4. S. 637–644. DOI: 10.1016/j.ejrs.2024.08.001
18. Antonakakis M., Zervakis M. Advances in Unmanned Aerial Vehicle-Based Sensing and Imaging // *Sensors*. 2024. Vol. 24. № 24. Art. 8094. DOI: 10.3390/s24248094
19. Review of the Application of UAV Edge Computing in Fire Rescue / H. Sun [et al.] // *Sensors*. 2025. Vol. 25. № 11. Art. 3304. DOI 10.3390/s25113304
20. Huang L. Review on LiDAR-based SLAM techniques // *2021 International conference on signal processing and machine learning (CONF-SPML). IEEE*, 2021. S. 163–168. DOI: 10.1109/CONF-SPML54095.2021.00040
21. Optiko-elektronnaya sistema dlya uluchsheniya vidimosti pri zadymlenii / A.V. Surikov [i dr.] // *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MCHS Respubliki Belarus'*. 2014. № 2 (20). S. 4–12. EDN SWENLB.
22. Hyperspectral camera system: acquisition and analysis / G.J. Brelstaff [et al.] // *Geographic Information Systems, Photogrammetry, and Geological/Geophysical Remote Sensing. SPIE*, 1995. T. 2587. S. 150–159. DOI: 10.1117/12.226819
23. Hazardous Noxious Substance Detection Based on Ground Experiment and Hyperspectral Remote Sensing / J.-J. Park [et al.] // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13. № 2. Art. 318. DOI: 10.3390/rs13020318
24. Unmanned aerial vehicle as communication relay for autonomous underwater vehicle – Field tests / T.A. Johansen [et al.] // *2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). IEEE*, 2014. S. 1469–1474. DOI: 10.1109/GLOCOMW.2014.7063641
25. A systematic literature review of emergency communications assisted by unnamed aerial vehicles / I. López-Villegas [et al.] // *Ad Hoc Networks*. 2026. Vol. 182. Art. 104063. DOI: 10.1016/j.adhoc.2025.104063

26. Thermovision and ground penetrating radar for investigation of architectural decorations—potential and limitations / A. Cupa [et al.] // Proceedings of the 11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography (QIRT 2012). Naples, Italy. 2012. S. 11–14. DOI: 10.21611/qirt.2012.120

27. Sense through wall human detection using UWB radar / S. Singh [et al.] // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2011. Vol. 2011. Art. 20. DOI: 10.1186/1687-1499-2011-20

28. Grebnev Ya.V., Yarovoj A.V. Monitoring i prognozirovanie pavorodkov na territorii Krasnoyarsckogo kraja ispol'zovaniem nejrosetevyh algoritmov // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2018. № 3 (10). S. 13–16. EDN YLRUBF.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.11.2025; одобрена после рецензирования: 24.01.2026; принята к публикации: 10.03.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 05.11.2025; approved after review: 24.01.2026; accepted for publication: 10.03.2026

Информация об авторах:

Шамсудинов Глеб Юрьевич, курсант факультета инженеров пожарной безопасности Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662971, г. Железногорск, ул. Свердлова, д. 11), e-mail: gleb.shamsudinov@mail.ru, SPIN-код: 9108-2708

Яровой Вячеслав Юрьевич, преподаватель кафедры пожарной тактики и аварийно-спасательных работ Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662978, г. Железногорск, Юбилейный пр-д, д. 5), e-mail: yarovoiviacheslav@yandex.ru, SPIN-код: 8454-3940

Михайлова Анна Константиновна, доцент кафедры пожарной тактики и аварийно-спасательных работ Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (660020, Красноярск, ул. 6-я Полярная, д. 2А), кандидат медицинских наук, e-mail: it@sibpsau.ru, SPIN-код: 1569-4127

Information about the authors:

Shamsudinov Gleb Yu., cadet of the faculty of fire safety engineers of the Siberian fire and rescue academy of State fire service of EMERCOM of Russia (662971, Zheleznogorsk, Sverdlova st., bldg. 11), e-mail: gleb.shamsudinov@mail.ru, SPIN: 9108-2708

Yarovoy Vyacheslav Yu., lecturer at the department of fire tactics and emergency rescue operations of Siberian fire and rescue academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (662978, Zheleznogorsk, Yubileyny pr., bldg. 5), e-mail: yarovoiviacheslav@yandex.ru, SPIN: 8454-3940

Mikhailova Anna K., associate professor of the department of fire tactics and emergency rescue operations of Siberian fire and rescue academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (660020, Krasnoyarsk, 6th Polyarnaya St., bldg. 2A), Candidate of Medical Sciences, e-mail: it@sibpsau.ru, SPIN: 1569-4127