

Аналитическая статья

УДК 614.84; DOI: 10.61260/2304-0130-2025-4-44-50

СИСТЕМА СВЯЗИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

✉Мартынов Максим Антонович.

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

✉ferrotank@gmail.com

Аннотация. Проведён анализ существующих систем связи беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для обнаружения и тушения пожаров. Выявлены недостатки: ограниченная скорость передачи данных, недостаточная информированность в системе связи, отсутствие указания оптимального диапазона канала связи, ориентация на сокращение и оптимизацию информационного обмена без улучшения качества сигнала, а также направленность на использование в морских условиях, а не на сухопутных участках. В качестве альтернативы предложен инновационный метод обнаружения и ликвидации природных пожаров. Описаны его структура и система связи, которая является наиболее оптимальной, практической и способной решать широкий спектр задач: от получения и обмена информацией между беспилотными летательными аппаратами и другими летательными аппаратами или наземными станциями до предотвращения столкновений и оптимизации маршрутов.

Ключевые слова: обнаружение природных пожаров, тушение природных пожаров, система связи с беспилотными летательными аппаратами

Для цитирования: Мартынов М.А. Система связи беспилотного летательного аппарата для обнаружения и тушения природных пожаров // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2025. № 4 (56). С. 44–50. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-4-44-50.

Analytical article

COMMUNICATION SYSTEM OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR DETECTING AND EXTINGUISHING NATURAL FIRES

✉Martynov Maksim A.

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

✉ferrotank@gmail.com

Abstract. The article analyses the existing communication systems of unmanned aerial vehicles designed for fire detection and extinguishing. Their disadvantages, such as limited data transmission speed, insufficient awareness in the communication system, lack of indication of the optimal communication channel range, focus on reducing and optimising information exchange without improving signal quality, as well as focus on use in marine conditions rather than on land areas, are revealed. An innovative method of natural fire detection and suppression is proposed as an alternative. Its structure and communication system are described, which is the most optimal, practical and capable of solving a wide range of tasks: from receiving and exchanging information between unmanned aerial vehicles and other aircraft or ground stations to collision avoidance and route optimisation.

Keywords: natural fire detection, natural fire suppression, unmanned aerial vehicles communication system

For citation: Martynov M.A. Communication system of an unmanned aerial vehicle for detecting and extinguishing natural fires // Prirodnye i tekhnogenyye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2025. № 4 (56). P. 44–50. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-4-44-50.

Введение

В современном мире проблема природных пожаров остаётся актуальной. По данным Международной ассоциации пожарно-спасательных (STIF) служб 2022 г. в 36-ти странах зарегистрировано 37 692 лесных пожара [1]. Они представляют серьёзную угрозу для окружающей среды, населения и инфраструктуры. В связи с этим разработка и внедрение новых технологий для обнаружения и тушения пожаров становятся приоритетными задачами [2].

Одним из перспективных направлений в этой области является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). БПЛА могут выполнять задачи: по мониторингу территории, обнаружению очагов возгорания и тушению пожаров [3–5]. Однако существующие системы связи БПЛА имеют ряд недостатков, которые ограничивают их эффективность.

Проблематика применения беспилотных летательных аппаратов для обнаружения и тушения природных пожаров состоит в отсутствии универсальной системы связи, обеспечивающей извещение других участников воздушного движения о манёврах и других навигационных данных беспроводных аппаратов в автоматическом режиме.

Целью исследования является анализ существующих систем связи БПЛА, используемых для обнаружения и тушения пожаров, а также выявление их недостатков. На основе проведённого анализа будет предложен инновационный способ обнаружения и тушения природных пожаров с использованием БПЛА, который позволит повысить эффективность и надёжность этих процессов.

Методы исследования: анализ литературы и документации, описание и сравнение.

Основная часть

Решение относится к области использования БПЛА для целей народного хозяйства, грузоперевозок, пожаротушения и мониторинга лесов и территорий. Решение может быть использовано для оптимизации перемещения таких аппаратов и предотвращения столкновения с другими объектами, в том числе с пилотируемыми воздушными судами.

Мы проанализировали основные системы связи и приводим следующие результаты.

В патентах RU 2309543 C2 [6] и RU 2518054 C1 [7] упоминается применение сигналов информационного обмена с воздушным судном в каналах «воздух – земля» в диапазоне метровых волн для линий передачи данных «воздух – земля» VDL-2 и VDL. Однако в этих документах данная технология подвергается критике за ограниченную скорость передачи данных, которая считается недостаточной.

В патенте RU 2687008 C2 [8] предлагается метод, согласно которому БПЛА формирует плановую траекторию полёта в виде конхоидального преобразования лемнискаты на основе удалённости от цели. Вычислительное устройство БПЛА оснащено интерфейсом связи для приёма данных о расстоянии до цели. Этот интерфейс может быть представлен как беспроводным, так и одним или несколькими проводными интерфейсами. Беспроводные интерфейсы поддерживают связь по одному или нескольким протоколам, таким как Very High Frequency Data link, VDL Mode 2, Aircraft Communications Addressing and Reporting System, цифровая связь УКВ-радио и спутниковая связь, Bluetooth, Wi-Fi (например, протокол 802.11 стандарта IEEE), Long-Term Evolution, сотовая связь, технология NFC и другие протоколы беспроводной коммуникации.

Проводные интерфейсы могут включать в себя шину данных летательного аппарата, например, интерфейсы по стандартам 429, 629 или 664 ARTNC, интерфейс Ethernet, Universal Serial Bus и так далее. Интерфейс 132 связи может быть выполнен с возможностью приема входных данных от одного или более устройств, а также может быть выполнен с возможностью отправки выходных данных на другие устройства.

В патенте не раскрыты специфические особенности упомянутых интерфейсов связи. По сути, автор технического решения представил перечень всех известных интерфейсов, включая проводные, что для летательных аппаратов требует дополнительных пояснений.

В патенте RU 2676387 C1 [9] описана конструкция малогабаритной бортовой аппаратуры для формирования и передачи телеметрической информации с беспилотного летательного аппарата. Аппаратура включает в себя, помимо прочего, модуль передачи телеметрической информации, интерфейсный модуль и блок аппаратного и алгоритмического кодирования. Интерфейсный модуль содержит модуль обработки сигналов, который состоит из аналого-цифровых преобразователей, средства преобразования кадра, оперативного запоминающего устройства и преобразователей интерфейса. Модуль передачи телеметрической информации оснащён передатчиком, постоянным запоминающим устройством и интегрированной антенной. Это обеспечивает повышенную надёжность регистрации параметров БПЛА, контролируемых по радиоканалу, защиту информации и уменьшение размеров аппаратуры. В тексте патента отмечается, что корректный выбор частоты сигнала позволяет использовать оптимальный по компактности набор датчиков, модулей и антенн.

В патенте описаны недостатки существующих решений и известных частот, однако не указано, какой диапазон оптimalен для уменьшения размеров оборудования и достижения технического эффекта при использовании узкого канала связи в управлении БПЛА. В таких условиях требуется обработка и верификация большого объёма информации, который не помещается в узкий канал связи без специальных технических решений.

В патенте RU 2722366 C2 [10] подробно описан способ и система автоматической фильтрации сетевых сообщений в авиационной сети летательного аппарата на основе текущего системного контекста. В документе указано, что бортовые сетевые системы летательного аппарата могут отправлять информацию на другой самолёт и/или системы беспилотного летательного аппарата через сеть и получать от них данные. При этом информация может содержать данные автоматического зависимого наблюдения-вещания (ADS-B), основанные на линии передачи расширенного сквичтера с частотой 1090 МГц, или другие маячковые сигналы для идентификации и отслеживания летательного аппарата.

Основной недостаток этого технического решения заключается в том, что оно ориентировано на сокращение и оптимизацию информационного обмена, а не на его улучшение. Обмен сигналами описан в общем виде – без указания, какие ещё сигналы следует использовать вместе с частотой 1090 МГц для достижения наилучшего результата.

В дальнейшем будут представлены особенности предлагаемого решения, в котором приём и передача сигналов управления БПЛА осуществляются исключительно через канал VDL-4 на частоте 136–137 МГц.

Ближайшим аналогом заявитель считает источник RU 2790349 C1 [11], согласно которому антенное устройство 118 БПЛА (летно-подъёмного аппарата) представлено набором из четырех антенн, обеспечивающих прием запросных кодов с земли на частоте 1030 МГц, ответных кодов с борта воздушного судна на частоте 1090 МГц, запросных и ответных кодов морских судов на частоте 163 МГц, при этом четвертой является антenna приема сигналов ГНСС ГЛОНАСС (GPS), предназначенных для определения собственного местоположения.

Предложенное в ближайшем аналоге решение направлено на поиск оптимального выбора нескольких частот с учётом того, что устройство должно принимать и отправлять сигналы на нескольких разных точно определённых частотах для оповещения внешних воздушных судов/дронобортов о местонахождении всех участников воздушного движения.

Недостатком данного решения является узкая отраслевая направленность на использование в море (где источниками сигналов являются морские суда, имеющие свою специфику), а не на сухопутных участках (где наземная аппаратура имеет свои особенности, обусловленные возможностью проводной связи между такой аппаратурой),

Таким образом, нашей задачей является создание автоматизированной системы взаимного оповещения и обработки сообщений бортовыми ресурсами БПЛА между используемым БПЛА с одной стороны, а также другими БПЛА и/или пилотируемыми воздушными судами с другой стороны, в условиях, когда количество оборудования, устанавливаемого на БПЛА, является конечным и ограниченным и требует максимальной компактности и легкости.

Основным техническим результатом предложенного решения является безопасность, как для БПЛА, так и находящихся в зоне досягаемости иных объектов (БПЛА, иных воздушных судов, беспилотных летательных систем). Дополнительным техническим результатом является применение ресурсов одноплатного модуля математической обработки входящей информации и формирование исходящей информации.

Сущность решения

Предлагается БПЛА вертолётного типа, имеющий корпус, состоящий из рамы с кожухом и хвостовой балки; двигатель; систему электрического снабжения; аккумулятор; модуль на основе одноплатного компьютера (микро-ЭВМ), управляющий радиооборудованием; радиооборудование, включающее радио-удлинитель 2,4 ГГц; модуль 3G/4G связи и спутниковый приёмник (ГНСС приемник). А также антенно-фидерный комплект, включающий:

- блок приемо-передатчика;
- antennу приема VDL4 сигнала (антенну системы АЗН-В VDL4), которая располагается на хвостовой балке аппарата;
- antennу приёма 1090ES сигнала (антенна системы АЗН-В 1090ES), которая располагается в области передней (носовой) части аппарата на металлизированной подстилающей поверхности;
- спутниковый приёмник, который располагается на хвостовой балке;
- фидеры спутникового приёмника, antenn AЗН-В VDL4 и AЗН-В 1090ES.

Оптимальной компоновкой изделия является такая, при которой блок приемопередатчика располагается в задней части фюзеляжа; антenna приёма VDL4-сигнала имеет направление вниз и располагается на хвостовой балке в центральной области аппарата; антenna приёма 1090ES сигнала имеет направление вниз и располагается в области передней (носовой) части аппарата; спутниковый приёмник располагается на хвостовой балке сверху; фидеры спутникового приёмника и antenn AЗН-В VDL4 проходят по верхней части хвостовой балки и заходят под кожух, а фидер от antenn AЗН-В 1090ES проходит в пространстве под кожухом.

Кожух БПЛА должен быть лёгким, чтобы не экранировать прохождение радиосигналов. Оптимальным является исполнение кожуха из полимеров (пластмасс) или композитов (углепластика, углеволокна).

Предложенное решение может быть выполнено посредством двигателей внутреннего сгорания, однако оптимальным будет использование электрического двигателя, что может быть реализовано при использовании одного или нескольких аккумуляторов. Аккумуляторы могут располагаться по бокам фюзеляжа.

Изделие имеет antennу приёма 1090ES сигнала, которая располагается в области передней (носовой) части аппарата на металлизированной подстилающей поверхности (не показана). Такая антenna может находиться в самом носу БПЛА, чуть ниже носа, помещаться как внутри кожуха, так и снаружи. Предпочтительно, чтобы она ориентировалась вниз, например, относительно усреднённой поперечной плоскости изделия – под углом 60°–90°.

Блок приемо-передатчика, располагается в кожухе, например, в срединной части БПЛА (в задней части фюзеляжа), и соединён (проводами и фидерами) с перечисленными радио-деталями изделия (antennами, блоками, передатчиками).

Антенна приёма VDL4 располагается на хвостовой балке аппарата ближе к срединной части изделия. Она обязательно должна ориентироваться вниз, например, относительно усреднённой поперечной плоскости изделия – под углом 80°–90°. Предпочтительный диапазон приема и передачи сигналов антенной VDL-4 это частота 136–137 МГц. При выборе такой частоты прием и передача сигналов управления БПЛА производится только через канал VDL-4.

Спутниковый приёмник располагается на хвостовой балке сверху, примерно в той же зоне, что и антенна приёма VDL, более того, обе названные детали могут иметь один общий экран (одну общую подстилающую поверхность). Обыкновенно подобные спутниковые приёмники имеют форму, приближенную к сплющенному цилиндру («шайбе») или полусфере. Приёмник должен быть размещён в верхней части.

Подобные БПЛА могут иметь самое широкое гражданское применение: использоваться для перевозки грузов, для тушения пожаров, наблюдения за территорией, оборудоваться датчиками погодных станций для сбора метеоданных.

Учитывая стандартные габариты описанного оборудования, следует отметить, что предложенное решение предпочтительно должно выполняться на БПЛА сравнительно большого размера и веса, на так называемых беспилотных авиационных системах, то есть «тяжёлых» БПЛА, имеющих высокую грузоподъёмность. Это особенно востребовано в сфере пожаротушения, поскольку в качестве пожарных БПЛА используются крупные грузоподъемные машины, которые способны нести большое количество огнетушащих бомб (зарядов), а значит производить тушение пожара с большей эффективностью.

Заключение

Предложенное решение содержит техническое решение для достижения надёжного, эффективного обеспечения безопасности, использования БПЛА, предлагает легко исполнимое и минимально достаточное решение большинства задач по получению и обмену информацией между БПЛА и другими летательными аппаратами или наземными станциями, по предотвращению столкновений, по оптимизации маршрутов. Управление обмена информацией реализуется через микро-ЭВМ. Компоновка антенн и передатчиков исполнена таким образом, чтобы минимально влиять на аэродинамические свойства БПЛА вертолётного типа, а также на его балансировку. При этом реализована экономная и эффективная система передачи сигналов и информации через ретранслятор соседним наземным станциям и БПЛА, также низкоорбитальным спутниковым группировкам.

Список источников

1. International Association of Fire and Rescue Service // World fire statictics № 29, 2024. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2024-06/CTIF_Report29_ERG.pdf (дата обращения: 13.09.2024).
2. Акимов В.А., Соколов Ю.И. Риски при обращении с огнём в природной среде // Технологии гражданской безопасности. 2013. №4 (38).
3. Федорец Е.А., Сутунков В.Ю. Система обнаружения лесных пожаров с использованием БПЛА // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: сб. статей LVI науч.-практ. конф. Тюмень: ГАУСЗ, 2022 Т. 4 С. 514–519.
4. Кириллов Ю.Ф., Кириллов Д.Ю. Применение беспилотных летательных аппаратов для раннего обнаружения очагов лесных пожаров на примере Центральной Якутии // Вопросы устойчивого развития общества. 2022 № 4. С. 895–901.
5. Овчинников А.В., Фетисов В.С. Тушение городских пожаров с помощью беспилотных летательных аппаратов // Актуальные проблемы науки и техники: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Ижевск: ИжГТУ, 2022. С. 836–840.
6. Система радиосвязи с подвижными объектами: пат. 2309543 Российской Федерации, МПК H04B 7/26, H04B 7/185. / Кейстович А.В., Кейстович А.А.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-

7. Система радиосвязи с подвижными объектами: пат. 2518054 Рос. Федерации, МПК H04B 7/26. / Кейстович А.В., Смирнов А.А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Полет». № 2012157410/07; заявл. 25.12.2012; опубл. 25.12.2012.

8. Способ установления плановой траектории полета транспортного средства возле цели (варианты), вычислительное устройство (варианты): пат. 2687008 Рос. Федерации, МПК G05D 1/00, G05D 1/12, G08G 5/00, B64C 39/02. / Рисдик Р.; заявитель и патентообладатель ИНСИТУТ, ИНК. № 2017137135; заявл. 23.10.2017; опубл. 06.05.2019.

9. Малогабаритная бортовая аппаратура формирования и передачи телеметрической информации беспилотного летательного аппарата: пат. 2676387 Рос. Федерации, МПК B64D 47/00, G08C 19/00. / Лузин М.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Опытное конструкторское бюро «Новатор». № 2018102988; заявл. 25.01.2018; опубл. 28.12.2018.

10. Система и способ контекстно-зависимой фильтрации в сети: пат. 2722366 Рос. Федерации, МПК H04L 29/06. / БУШ Джон Э., АРНОЛЬД Стивен Л., АЙЯГАРИ Арун. Заявитель и патентообладатель ЗЕ БОИНГ КОМПАНИ (US). № 2017102041; заявл. 23.01.2017; опубл. 29.05.2020.

11. Контрольно-измерительная система радиомониторинга: пат. 2790349 Рос. Федерации, МПК G01S 5/04. / Божьев А.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Специальный Технологический Центр». № 2022120524; заявл. 26.07.2022; опубл. 16.02.2023.

References

1. International Association of Fire and Rescue Service // World fire statictics № 29, 2024. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2024-06/CTIF_Report29_ERG.pdf (data obrashcheniya: 13.09.2024).
2. Akimov V.A., Sokolov YU.I. Riski pri obrashchenii s ognjom v prirodoj srede // Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti. 2013. №4 (38).
3. Fedorec E.A., Sutunkov V.YU. Sistema obnaruzheniya lesnyh pozharov s ispol'zovaniem BPLA // Dostizheniya molodezhnoj nauki dlya agropromyshlennogo kompleksa: sb. statej LVI nauch.-prakt. konf. Tyumen': GAUSZ, 2022 T. 4 S. 514–519.
4. Kirillov YU.F., Kirillov D.YU. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlya rannego obnaruzheniya ochagov lesnyh pozharov na primere Central'noj Yakutii // Voprosy ustoichivogo razvitiya obshchestva. 2022 № 4. S. 895–901.
5. Ovchinnikov A.V., Fetisov V.S. Tushenie gorodskih pozharov s pomoshch'yu bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Aktual'nye problemy nauki i tekhniki: materialy II Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Izhevsk: IzhGTU, 2022. S. 836–840.
6. Sistema radiosvyazi s podvizhnymi ob"ektami: pat. 2309543 Rossijskaya Federaciya, MPK H04B 7/26, H04B 7/185. / Kejstovich A.V., Kejstovich A.A.; zayavitel' i patentoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatiye «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatiye «Polet». № 2005130586/09; zayavl. 03.10.2005 ; opubl. 27.10.2007.
7. Sistema radiosvyazi s podvizhnymi ob"ektami: pat. 2518054 Ros. Federaciya, MPK H04B 7/26. / Kejstovich A.V., Smirnov A.A.; zayavitel' i patentoobladatel' Otkrytoe akcionernoje obshchestvo «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatiye «Polet». № 2012157410/07; zayavl. 25.12.2012; opubl. 25.12.2012.
8. Sposob ustanovleniya planovoj traektorii poleta transportnogo sredstva vozle celi (variants), vychislitel'noe ustroystvo (variants): pat. 2687008 Ros. Federaciya, MPK G05D 1/00, G05D 1/12, G08G 5/00, B64C 39/02. / Risdik R.; zayavitel' i patentoobladatel' INSITUT, INK. № 2017137135; zayavl. 23.10.2017; opubl. 06.05.2019.
9. Malogabaritnaya bortovaya apparatura formirovaniya i peredachi telemetricheskoy informacii bespilotnogo letatel'nogo apparata: pat. 2676387 Ros. Federaciya, MPK B64D 47/00,

G08C 19/00. / Luzin M.V. [i dr.]; zayavitel' i patentoobladatel' Otkrytoe akcionernoje obshchestvo «Opytnoe konstruktorskoe byuro «Novator». № 2018102988; zayavl. 25.01.2018; opubl. 28.12.2018.

10. Sistema i sposob kontekstno-zavisimoj fil'tracii v seti: pat. 2722366 Ros. Federaciya, MPK H04L 29/06. / BUSH Dzhon E., ARNOL'D Stiven L., AJYAGARI Arun. Zayavitel' i patentoobladatel' ZE BOING KOMPANI (US). № 2017102041; zayavl. 23.01.2017; opubl. 29.05.2020.

11. Kontrol'no-izmeritel'naya sistema radiomonitoringa: pat. 2790349 Ros. Federaciya, MPK G01S 5/04. / Bozh'ev A.N. [i dr.]; zayavitel' i patentoobladatel' Obshchestvo s ogranicennoj otvetstvennost'yu «Special'nyj Tekhnologicheskij Centr». № 2022120524; zayavl. 26.07.2022; opubl. 16.02.2023.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 15.03.2025; одобрена после рецензирования: 22.11.2025; принята к публикации: 1.12.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 15.03.2025; approved after review: 22.11.2025; accepted for publication: 1.12.2025

Информация об авторах:

Мартынов Максим Антонович, технический руководитель ООО «TOMUS» (119607, Москва, Раменский бульвар д. 1), аспирант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ferrotank@gmail.com, SPIN-код: 8778-7830
Information about the authors:

Martynov Maxim A., technical manager of LLC «TOMUS» (119607, Moscow, Ramensky boulevard, 1), postgraduate student of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, (196105, SaintPetersburg, Moskovskiy ave., 149), e-mail: ferrotank@gmail.com, SPIN: 8778-7830