

УДК 623.746.4-519

doi: 10.37657/vniipo.avpb.2022.40.70.004

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЛИКА БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕТРАНСЛЯЦИИ СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Алексей Анатольевич Лопухов, Юрий Николаевич Осипов, Владимир Иванович Ершов, Станислав Евгеньевич Симанов

Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы возможности применения привязных телекоммуникационных платформ на основе беспилотных воздушных судов (БВС) для ретрансляции сигналов управления наземными робототехническими комплексами (РТК) при выполнении аварийно-спасательных работ в сложных условиях чрезвычайных ситуаций. Актуальность темы обусловлена необходимостью поиска способов защиты системы управления РТК от негативного влияния мощных источников тепла при пожаре, ионизирующего излучения, многочисленных помех, возникающих при плотной городской застройке, когда оператор должен быть удален от управляемого им комплекса на значительное безопасное расстояние.

Ключевые слова: управление РТК, привязная платформа, телеметрия, частотный диапазон, сжатие данных, стабилизация платформы, передаваемая мощность, кабель-трос, бортовой преобразователь напряжения, аккумулятор, надежность системы

Для цитирования: Лопухов А.А., Осипов Ю.Н., Ершов В.И., Симанов С.Е. Особенности формирования полезной нагрузки и технического облика беспилотной авиационной системы ретрансляции сигналов управления для наземных робототехнических комплексов // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 2 (12). С. 33–40. <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2022.40.70.004>.

FORMATION FEATURES OF EFFECTIVE LOAD AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM OF SIGNAL RETRANSLATION FOR GROUND ROBOTIC SYSTEMS CONTROL

Aleksey A. Lopukhov, Yuriy N. Osipov, Vladimir I. Yershov, Stanislav E. Simanov

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.

Abstract. The article considers the issues of possible using tethered telecommunication platforms on the base of unmanned aerial vehicles (UAV) for signal retranslation of ground robotic complexes (RTC) control when performing emergency rescue operations in emergencies. The relevance of the topic is due to the need to find ways to protect the RTC control system from the negative effects of powerful heat sources in case of fire, ionizing radiation and numerous interferences arising from dense urban development, when the operator must be removed from the complex at a considerable safe distance.

Keywords: RTC control, tethered platform, telemetry, frequency range, data compression, platform stabilization, transmitted power, cable-rope, on-board voltage converter, battery, system reliability

For citation: Lopukhov A.A., Osipov Yu.N., Yershov V.I., Simanov S.E. Formation features of effective load and technical characteristics of unmanned aircraft system of signal retranslation for ground robotic systems control // Current Fire Safety Issues. 2022;(2):33-40. <https://doi.org/10.37657/vniipo.avpb.2022.40.70.004>.

Введение

События недалекого прошлого, такие как аварии на АЭС, взрывы на складах хранения боеприпасов, показали, что без применения РТК различного назначения устранение последствий подобных техногенных катастроф сопряжено с большими затратами и возможными человеческими жертвами.

Достаточно эффективное же применение РТК невозможно без использования надежных каналов управления и передачи информации. Это связано как с необходимостью удаленного и защищенного управления оператором данными системами, так и с необходимостью передачи от них оператору достаточно большого объема информации с телекамер, тепловизоров, систем телеметрии и т. п. При этом данные требования существенно усугубляются экстремальными условиями эксплуатации данных систем.

Несмотря на имеющееся преимущество, заключающееся в высокой надежности и помехозащищенности передачи информации, использование кабельных линий дистанционного управления РТК в то же время значительно ограничивает возможности маневрирования комплексов для выполнения работ в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Кроме того, применение индивидуальных кабельных линий связи в каждой подсистеме функционирования РТК затрудняет их монтаж, отладку и возможную модернизацию оборудования, создает большие трудности в наращивании функционала информационно-телеметрической системы.

Наиболее существенными преимуществами радиосистем передачи цифровой информации являются: возможность автоматизации обработки информации; универсальная форма представления сообщений различной физической природы и, как результат этого, гибкость систем, позволяющая при условии замены программы работы применять одно и то же оборудование для различных целей; возможность объединения отдельных систем в более крупные системы и комплексы. Однако, явно выигрывая в возможностях системы управления РТК, мы приобретаем и недостатки, свойственные радиосистемам передачи информации, главным из которых является более низкая помехозащищенность. Реализуя необходимость удаления оператора на значительное безопасное расстояние, система управления подвергается негативному влиянию мощных источ-

ников тепла при пожаре, ионизирующего излучения, многочисленным помехам от плотной городской застройки, что также существенно снижает дальность надежного управления и передачи потокового видео в режиме реального времени.

Поэтому выбор способа управления РТК – по кабелю или радиоканалу – в реальной обстановке остается за оператором. Однако при групповом применении наземных РТК выбор остается только за радиоканалом.

Соответственно, многократно возрастают и требования к телекоммуникационным системам, способным в таких тяжелых условиях обеспечить высоконадежный и высокоскоростной обмен данными.

Весьма же ограниченное количество и дороговизна систем беспроводной передачи информации, соответствующих предъявляемым к ним требованиям по дальности приемопередачи, надежности, защищенности, скорости передачи информации, как в России, так и в зарубежных странах, вынуждает использовать различные системы, созданные для совершенно других целей. Например, различные сети Wi-Fi, не способные обеспечить передачу информации на расстояния более 300 м, что и требует применения ретрансляторов.

Снизить остроту проблемы можно используя для ретрансляции привязные платформы на основе БВС коптерного типа, что в ряде публикаций [1–5] и предлагается для решения аналогичных задач в различных ведомствах. Тогда, во-первых, система привязного питания обеспечит практически неограниченную по времени работу (полет) БВС с полезной нагрузкой при ликвидации ЧС за счет электропитания через силовую кабель. И, во-вторых, реализация в составе конструкции кабеля высокоскоростного (до 10 Гбит/с) помехозащищенного канала передачи данных между наземным пунктом управления и платформой обеспечит удвоенную защищенность линии ретрансляции по сравнению с использованием свободнолетающего БВС.

Поскольку задача ретрансляции связи с использованием беспилотных авиационных систем (БАС) не является новой, а ретрансляция сигналов (команд) управления наземными РТК в ходе ликвидации последствий ЧС рассматривается пока как перспективная, то именно факторы, подлежащие учету при формировании полезной нагрузки БАС ретрансляции сигналов управления для наземных РТК, и являются объектом анализа в настоящей статье.

Формирование полезной нагрузки, обеспечивающей телеметрию

Ключевым фактором в использовании РТК в условиях ЧС природного и техногенного характера является устойчивая телеметрия. Сущность телеметрии заключается в преобразовании измеряемой величины (или величин) в информационный сигнал, пригодный для передачи по каналу связи.

Операторы могут обрабатывать значительное количество данных, собираемых в ходе выполнения задачи, использовать их для соответствующей настройки РТК и их полезных нагрузок (ПН), и достижения при этом оптимальных свойств системы.

В качестве среды передачи данных используются как специальные телеметрические каналы связи, но чаще, – каналы и сети связи общего применения (радио, GSM/GPRS, ZigBee, WiFi, WiMax, LTE, LPWAN, проводные ISDN, xDSL и т. п.).

Формируя ПН БАС ретрансляции сигналов управления наземными РТК, особо надо отметить необходимость выбора частотного диапазона ретранслируемых сигналов. Отсутствие специализированного оборудования беспроводной передачи информации для систем управления вынуждает применять бытовые и

офисные устройства, работающие в безлицензионном диапазоне частот 2,4 ГГц, без учета того факта, что параметры распространения радиоволн в данном частотном диапазоне сильно зависят от условий окружающей среды. И заявляя работу на расстоянии в 300 м, производители этой техники умалчивают, что эта дальность обеспечивается при сухой погоде на открытом пространстве и существенно уменьшается до уровня нескольких десятков метров после дождя в лесу или в условиях городской застройки.

В России ситуация обстоит даже худшим образом. Под каналы управления РТК часто приспособляются одноканальные устройства дистанционного управления для авиамodelей китайского производства, обеспечивающие работу по управлению максимум одним роботом только в отсутствии помех и препятствий, на расстоянии порядка нескольких сот метров.

Пренебрежение вопросами выбора оптимального частотного диапазона и создания специализированных для применения в робототехнике средств беспроводной передачи данных обусловлено рядом факторов, общих как в России, так и за рубежом:

часто существующее позиционирование роботов только как объектов демонстрации уровня высоких технологий;

позиционирование роботов как простых исполнительных механизмов, в задачи которых входят простейшие функции типа дистанционного (с управлением по кабелю) обследования местности;

отсутствие технологий, позволяющих решить задачу по высоконадежной передаче больших объемов информации в оптимальных для робототехники частотных диапазонах.

В России специализированные системы беспроводной передачи информации отсутствуют даже и для БАС ближнего радиуса действия и малой дальности, что является одной из причин, понуждающей осуществлять их закупки за рубежом.

В то же время известны результаты отечественной ОКР [5], при выполнении которой была разработана автоматизированная система на базе универсальных радиомодемов УКВ-диапазона для передачи данных с использованием сигнально-кодовых конструкций на основе OFDM-модуляции, работающих в оптимальном для использования в приземной зоне диапазоне частот 100–500 МГц. Данная совокупность технологий в процессе опытной эксплуатации обеспечила высоконадежную защищенную передачу цифровой информации в тяжелых условиях распространения радиосигнала, в том числе при наличии многолучевого приема и эффекта Доплера (что характерно для условий высотной городской застройки), а также в условиях управления наземными РТК на большом удалении при помощи технологии ретрансляции сигналов с использованием воздушных и/или наземных ретрансляторов. Разработанный комплекс оборудования обеспечивал пакетную передачу цифровой информации с использованием технологии Ethernet с поддержкой TCP- и UDP-протоколов на расстоянии до 5 км в условиях прямой видимости и непреднамеренных помех с обеспечением максимальной скорости передачи информации в полосе: 100 кГц – 512 кбит/с и 200 кГц – 1024 кбит/с.

Имеющее место в системах ретрансляции телеинформации сжатие данных не является самоцелью, а применяется для улучшения какой-либо характеристики. В ряде случаев погрешность, обусловленная шумами канала связи из-за экстремальных условий применения РТК, является доминирующей, поэтому вопросы повышения помехоустойчивости становятся первостепенными.

Наибольшее распространение получает уменьшение полосы частот в кана-

ле связи что, в свою очередь, и обеспечивает повышение помехоустойчивости связи.

Кроме того, для получения устойчивого и непрерывного радиосигнала в момент ретрансляции потребуется обеспечить неподвижное состояние БВС. Поэтому в случаях использования БВС в качестве ретранслятора радиосигнала целесообразно использовать, прежде всего, БАС вертолетного типа.

Формирование технического облика привязной БАС

Как указано выше, целесообразно, чтобы носителем аппаратуры полезной нагрузки комплекса служила привязная платформа на основе БВС коптерного типа, оснащенного бесколлекторными электродвигателями с синхронной системой управления и коммутацией с датчиками Холла на каждом двигателе. Стабилизация привязной платформы должна обеспечиваться как по высоте и по азимуту, так и по широте и долготе (в точке привязки). Решение широкого круга вопросов, связанных с разработкой привязной платформы, включая проблемы ее стабилизации, использования кабеля-троса, определения потребной мощности передаваемой электроэнергии на борт БВС и надежности системы, представлено в работах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук [3, 4, 6–9].

Сравнивая результаты моделирования условий применения ретранслятора сигналов управления наземным РТК с располагаемой дальностью ретрансляции, можно утверждать, что рациональной является высота подъема ретранслятора, а, стало быть, и максимальная длина кабеля в 100 м.

Расчеты, выполненные по методике [6] с учетом воздействия ветровых потоков на кабель-трос (рис. 1), показали, что для создания необходимой силы тяги силовой установки при высоте подъема платформы на высоту $H = 100$ м, скорости ветра $u = 15$ м/с, массе полезной нагрузки $m \leq 10$ кг передаваемая мощность земля-борт должна быть не менее $W = 7$ кВт.

Передачу электрической энергии от наземного источника в бортовой приемник-преобразователь высотной платформы предполагается обеспечить за счет применения специального кабеля-троса. Дополнительным его назначением является реализация в составе конструкции кабеля высокоскоростного (до 10 Гбит/с) помехозащищенного канала передачи данных между наземным пунктом управления и платформой.

Особые требования предъявляются к прочности тонкого кабель-троса БАС. В нем для повышения прочности в условиях турбулентной атмосферы наряду с медными проводами и оптическим волокном должна использоваться кевларовая нить.

Конструкция кабель-троса должна вклю-

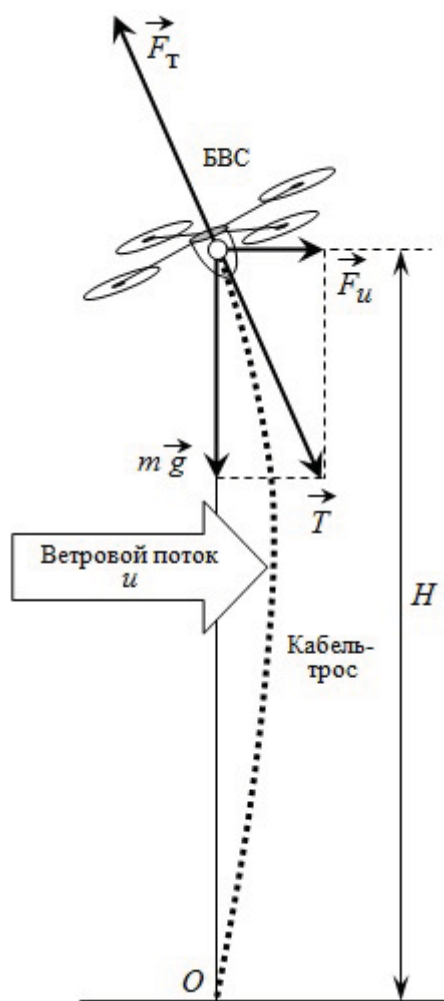


Рис. 1. Схема сил, действующих на БВС

чать в себя (рис. 2) [7] фторопластовую оболочку, два высоковольтных высокочастотных провода ВНМ-0,81, силовой жгут, окукленный тонкой оболочкой из фторопласта, а также оптический модуль с четырьмя оптоволоконными жилами. Провод ВНМ-0,81 представляет собой высоковольтный литцендрат из изолированных полиимидом медных проволок 0,1 x 103 общим сечением 0,81 мм² и фторопластовой изоляции с пробивным напряжением 8 кВ. Толщина изоляции 0,8 мм, диаметр провода 2,6 мм. Погонная масса кабеля-троса – 50 г/м.

Усиление мощности должно обеспечиваться преобразованием на наземном источнике питания входящего напряжения 220 В переменного тока в 360 В высокого напряжения постоянного тока с помощью коррекции коэффициента мощности по мостовой схеме и передачи его после фильтра по силовому кабелю. При использовании двухжильного оптоволоконного кабеля с сечением проводов не более 0,2 мм² должна обеспечиваться устойчивая передача тока не менее 3 А при пиковой нагрузке не более 6 А.

Бортовой преобразователь напряжения БВС должен обеспечить снижение высокого напряжения и после фильтрации передать на потребители не более 25 В постоянного тока. В цепь должен быть включен резервный аккумулятор на случай перебоев наземного питания.

Аккумулятор, служащий резервным источником питания и включенный в цепь, должен выполнять функцию конденсатора высокой емкости, что позволит обеспечить мгновенную мощность не менее 1000 Вт для взлета/посадки или значительных изменений в ориентации БВС. В штатных режимах работы привязная энергосистема должна выполнять зарядку резервного аккумулятора и поддержание 100 % уровня заряда. В состав БВС должны входить два аналогичных аккумулятора. Устанавливаемая аккумуляторная батарея должна обеспечивать время работы в режиме автономного полета и посадки не менее чем 3–5 мин.

Высокая надежность БВС достигается [7, 9] путем выбора двигательных установок с большей наработкой на отказ, резервирования элементов системы управления и, что особенно важно, использования развитой мультироторной архитектуры движителя. Так, у квадрокоптера отказ одного двигателя приводит к полному прекращению его функционирования, а при восьмироторном исполнении при отказе двух двигателей коптер может продолжать полет и выполнять задачу.

При эксплуатации БАС ретрансляции в горных условиях или в условиях высокоэтажной застройки, когда ослабляются или полностью исчезают сигналы GPS/ГЛОНАСС, необходимо предусмотреть переход на резервную локальную систему позиционирования и стабилизации по наземным маякам, в качестве которых рассматриваются автономные ультразвуковые, лазерные маяки, радиомаяки и т. п.

Максимальная дальность действия системы приема с ретранслятором может быть достигнута путем:

- увеличения мощности излучения передающих устройств;
- использования приемопередающих антенн с большой величиной коэффициента усиления, большой эффективной площадью и малыми боковыми лепест-

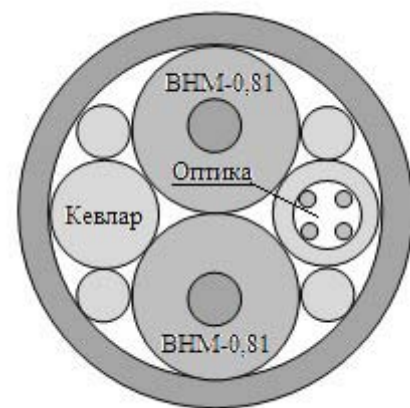


Рис. 2. Конструкция кабель-троса

ками, а также использования антенн с минимальной неравномерностью диаграмм направленности и минимальными поляризационными потерями;

- использования фидерных систем с большой величиной коэффициента полезного действия;
- выбора оптимального диапазона волн, при котором уровень внешних шумов и поглощение в атмосфере Земли;
- применения высокочувствительных приемных устройств, обеспечивающих в комплексе с методами оптимальной обработки и регистрации сигналов возможность работы при малых отношениях сигнал/шум на входе;
- выбора рациональной скорости передачи информации с изменением дальности.

Заключение

Практическая реализация отраженных в статье принципов построения привязных телекоммуникационных платформ на базе БВС – мультикоптера позволит создать комплекс, способный с высокой эффективностью выполнить задачу ретрансляции сигналов управления для наземных аварийно-спасательных и пожарных РТК, обеспечивая при этом защиту системы управления комплексами от негативного влияния мощных тепловых факторов, ионизирующего излучения и помех, характерных для плотной городской застройки.

Список литературы

1. Бердников С.М., Гончарук А.Н., Барагузина В.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в качестве ретрансляторов радиосигнала при проведении радиотелеметрических измерений // Военная мысль. 2020. № 11. С. 80–84.
2. Доценко С.М., Маркосян Р.А., Пинчук А.В., Соколов Н.А. Разработка телекоммуникационной системы для ВМФ // Вестник связи. 2016. № 02. С. 19–20.
3. Полтавский А.В. Телекоммуникация систем связи и управления на платформах беспилотных воздушных судов. Научный Вестник МГТУ ГА. 2021. Том 24, № 02. С. 58–69. DOI: 10.26467/2079-0619-2021-24-2-58-69.
4. Вишнеvский В.М., Терещенко Б.Н. Разработка и исследование нового поколения высотных привязных телекоммуникационных платформ. Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 7. С. 20–24.
5. Оборудование беспроводной передачи информации для наземных робототехнических комплексов. URL: <http://lib.tssonline.ru/articles2/data-centers/oborudovanie-besprovodnoy-peredachi-informatsii-dlya-nazemnyh-robototekhnicheskikh-kompleksov> (дата обращения: 26.10.2021).
6. Vishnevskij V.M., Shirvanyan A.M. and Tumchenok D.A. Mathematical Model of the Dynamics of Operation of the Tethered High-Altitude Telecommunication Platform in the Turbulent Atmosphere. IEEE Xplore, 2019. Pp. 1–7.
7. Вишнеvский В.М. Математические методы проектирования и опыт реализации привязных высотных беспилотных телекоммуникационных платформ. Презентация PowerPoint на XIII Всероссийском совещании по проблемам управления. URL: https://vspu2019.ipu.ru/files/V_Vishnevskiy%20Tied%20Communication%20Platforms.pdf (дата обращения: 29.10.2021).
8. Вишнеvский В.М., Терещенко Б.Н. Система энергообеспечения с высокими уровнями КПД и надежности для удаленных потребителей через соединительную линию малых сечений и масс. Proceedings of the International Workshop

«Distributed Computer and Communication Networks (DCCN-2011)». Moscow, Russia. M.: VINITI, 2011. Pp. 158–163.

9. Вишнеvский В.М., Козырев Д.В., Рыков В.В., Нгуен З.Ф. Моделирование надежности беспилотного высотного модуля привязной телекоммуникационной платформы // Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. Вып. 4. С. 26–38.

**Статья поступила в редакцию 01.12.2021;
одобрена после рецензирования 14.01.2022;
принята к публикации 28.01.2022.**

Лопухов Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, начальник отдела; **Осипов Юрий Николаевич** – кандидат военных наук, профессор, ведущий научный сотрудник; **Ершов Владимир Иванович** – кандидат военных наук, доцент, ведущий научный сотрудник; **Симанов Станислав Евгеньевич** – старший научный сотрудник.

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

Aleksey A. Lopukhov – Candidate of Technical Sciences, Head of Department; **Yurij N. Osipov** – Candidate of Military Sciences, Professor, Leading Researcher; **Vladimir I. Ershov** – Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Leading Researcher; **Stanislav E. Simanov** – Senior Researcher.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.