

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

DESIGN, CONSTRUCTION AND PRODUCTION OF AIRCRAFT

УДК 623.746.4-519

doi:10.21685/2307-5538-2022-1-11

ПОДСИСТЕМА СВЯЗИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Н. Баянбай¹, К. А. Ожикенов², В. В. Шерстнев³, О. Е. Безбородова⁴, О. Н. Бодин⁵

^{1,2} Казахский национальный исследовательский университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

^{3,4,5} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ bayanbay_nur@mail.ru, ² k.ozhikenov@satbayev.university, ³ iit@pnzgu.ru, ⁴ ot@pnzgu.ru, ⁵ bodin_o@inbox.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается построение на основе принципа иерархии подсистемы связи мобильного телемедицинского комплекса, оснащенного гетерогенной группой беспилотных воздушных судов и функционирующего в условиях ЧС. *Материалы и методы.* Предложены три уровня радиосвязи: верхний уровень соответствует дальней (космической) радиосвязи, средствами которой оснащается мобильный телемедицинский комплекс, средний уровень соответствует радиосвязи средней дальности, средствами которой оснащаются беспилотное воздушное судно, координирующее полетное задание гетерогенной группы беспилотных воздушных судов и беспилотные воздушные судна гетерогенной группы; нижний уровень соответствует ближней радиосвязи, средствами которой оснащается беспилотное воздушное судно гетерогенной группы и малоподвижные объекты в зоне ЧС. Рассмотрены структурные схемы и приведены характеристики дальней, средней и ближней радиосвязи. *Результаты.* Показано, что предложенная организация подсистемы связи мобильного телемедицинского комплекса, оснащенного гетерогенной группой беспилотных воздушных судов и функционирующего в условиях ЧС, позволяет функционально распределить задачи, решаемые отдельными беспилотными воздушными судами гетерогенной группы, и затем интегрировать полученные результаты. *Вывод.* По мнению авторов, построение на основе принципа иерархии подсистемы связи мобильного телемедицинского комплекса, оснащенного гетерогенной группой беспилотных воздушных судов и функционирующего в условиях ЧС, позволяет решать ресурсоемкие и сложные задачи в медицине и при ликвидации последствий ЧС.

Ключевые слова: мобильный телемедицинский комплекс, гетерогенная группа беспилотных воздушных судов, блоки дальней, средней и ближней радиосвязи

Для цитирования: Баянбай Н., Ожикенов К. А., Шерстнев В. В., Безбородова О. Е., Бодин О. Н. Подсистема связи системы управления беспилотных воздушных судов в условиях чрезвычайных ситуаций // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 1. С. 92–99. doi:10.21685/2307-5538-2022-1-11

COMMUNICATION SUBSYSTEM OF CONTROL SYSTEMS OF UNMANNED AIRCRAFT UNDER EMERGENCY CONDITIONS

N. Bayanbay¹, K.A. Ozhikenov², V.V. Sherstnev³, O.E. Bezborodova⁴, O.N. Bodin⁵

^{1,2} K.I. Satpayev Kazakh National Research University, Almaty, Kazakhstan

^{3,4,5} Penza State University, Penza, Russia

¹ bayanbay_nur@mail.ru, ² k.ozhikenov@satbayev.university, ³ iit@pnzgu.ru, ⁴ ot@pnzgu.ru, ⁵ bodin_o@inbox.ru

Abstract. Background. The article is devoted to the construction on the basis of the principle of the hierarchy of the communication subsystem of a mobile telemedicine complex equipped with a heterogeneous group of unmanned aerial vehicles and functioning in emergency conditions. **Materials and methods.** Three levels of radio communication are proposed: the upper level corresponds to long-range (space) radio communication, with the means of which a mobile telemedicine complex is equipped, the middle level corresponds to medium-range radio communication, with the means of which an unmanned aerial vehicle is equipped, coordinating a flight task of a heterogeneous group of unmanned aerial vehicles and unmanned aerial vehicles of a heterogeneous group; the lower level corresponds to short-range radio communications, the means of which are equipped with an unmanned aircraft of a heterogeneous group and sedentary objects in the emergency zone. Structural diagrams are considered and characteristics of long-range, medium and short-range radio communications are given. **Results.** It is shown that the proposed organization of the communication subsystem of a mobile telemedicine complex, equipped with a heterogeneous group of unmanned aerial vehicles and operating in emergency conditions, makes it possible to functionally distribute tasks solved by individual unmanned aerial vehicles of a heterogeneous group, and then integrate the results obtained. **Conclusion.** According to the authors, the construction on the basis of the principle of the hierarchy of the communication subsystem of a mobile telemedicine complex equipped with a heterogeneous group of unmanned aerial vehicles and operating in emergency conditions allows solving resource-intensive and complex problems in medicine and in the elimination of the consequences of emergencies.

Keywords: mobile telemedicine complex, heterogeneous group of unmanned aerial vehicles, long-range, medium and short-range radio communication units

For citation: Bayanbay N., Ozhikenov K.A., Sherstnev V.V., Bezborodova O.E., Bodin O.N. Communication subsystem of control systems of unmanned aircraft under emergency conditions. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(1):92–99. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-1-11

Постановка проблемы

Подсистема связи мобильного телемедицинского комплекса (МТМК), оснащенного гетерогенной группой (ГГ) беспилотных воздушных судов (БВС), имеет первостепенное значение в условиях ЧС при проведении поиско-спасательных работ (ПСР) и оказании экстренной медицинской помощи (ЭМП) пострадавшим. Ее основной задачей является бесперебойное обеспечение передачи данных при измерении, мониторинге, управлении и контроле (ИМУК). Особенностью функционирования МТМК в условиях ЧС является проведение телемедицинских консультаций в режиме видеоконференций для оказания врачебной помощи на расстоянии, что обуславливает необходимость использования широкополосных каналов связи и видеоаппаратуры.

К недостаткам подсистемы связи существующих МТМК относятся:

- недостаточная пропускная способность сетей связи, организуемых с помощью имеющихся в их составе средств и комплексов связи;
- трудности обеспечения связи между абонентами различных сетей из-за использования в них разнотипных оконечных средств с различными алгоритмами работы;
- невозможность оперативного проведения видеоконференций, что снижает эффективность оказания медицинской помощи.

Целью статьи является построение подсистемы связи системы управления гетерогенной группой беспилотных воздушных судов в условиях ЧС.

Материалы и методы

Применение гетерогенной группы беспилотных воздушных судов (ГГ БВС) открывает новые перспективы при решении ресурсоемких и сложных задач в медицине и при ликвидации последствий ЧС [1, 2]. ГГ БВС представляет собой совокупность совместно и согласованно действующих роботов, решающих общие задачи для достижения общей цели [3]. Фактически ГГ БВС является объединением функциональных возможностей роботов, составляющих группу. Одним из главных преимуществ ГГ БВС является возможность достижения синергетического эффекта, состоящего в существенном увеличении функционального потенциала группы по сравнению с отдельно взятыми единицами мобильных роботов [4].

Далее рассмотрим систему управления ГГ БВС в условиях ЧС. Структура системы управления (СУ) ГГ БВС состоит из замкнутых информационных уровней, взаимодействие

между которыми должно осуществляться в доменах синхронизма задач, решаемых на каждом уровне¹. В состав СУ должны входить:

- бортовое оборудование, содержащее центральный процессор и получающее оперативную информацию о параметрах управляемого объекта и его рабочей зоны (датчики);
- пультное оборудование, совместно с бортовым оборудованием вырабатывающее управляющие команды на исполнительные устройства ГГ БВС;
- канал связи, соединяющий бортовое и пультное оборудование.

Структурная схема СУ ГГ БВС приведена на рис. 1.

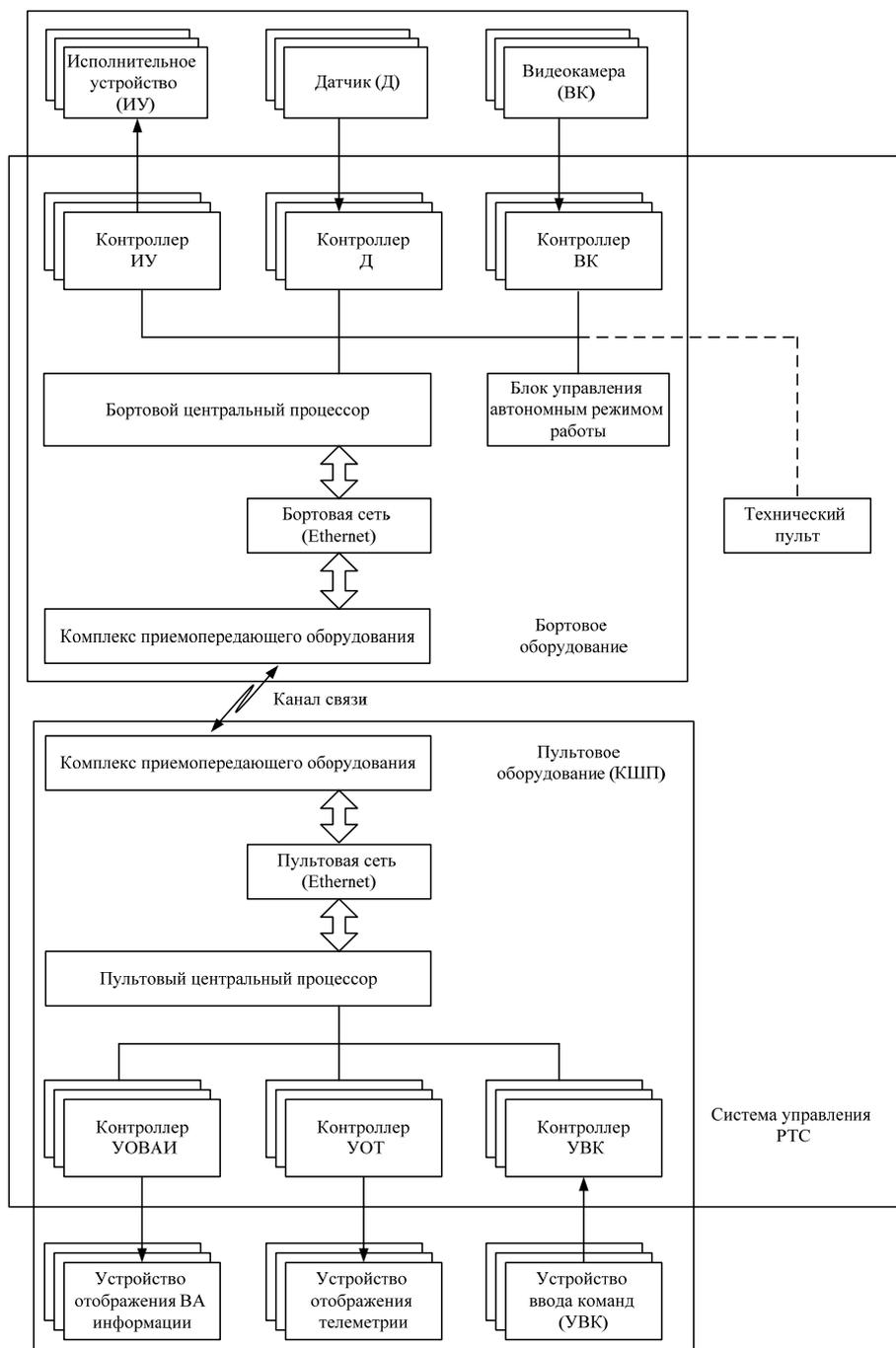


Рис. 1. Структурная схема системы управления гетерогенной группой беспилотных воздушных судов

¹ ГОСТ Р 55895-2013. Техника пожарная. Системы управления робототехнических комплексов для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Общие технические требования. Методы испытаний.

При использовании ГГ БВС связь между членами группы имеет большое значение в управлении и координации. Структура связи определяет, как осуществляется обмен информацией между БВС в группе или между ГГ БВС и оператором. В работе [6] подробно рассматриваются четыре коммуникационные структуры, их преимущества и недостатки, сценарии применения.

Анализ рис. 1 показывает, что канал связи является одним из «узких» мест в функционировании ГГ БВС.

Результаты и обсуждение

По мнению авторов, современный МТМК должен объединять в себе мощный компьютер, сопрягаемый с разнообразным медицинским оборудованием, средства ближней, средней и дальней беспроводной связи, средства видеоконференции и средства IP-вещания. Авторами предлагается в качестве составных элементов подсистемы связи СУ ГГ БВС использовать пикосети Bluetooth с точкой доступа Wi-Fi и последующим применением системы спутниковой связи *VSAT*. Рассмотрим подробнее разработку каждого из составных элементов (блоков) подсистемы мобильной связи.

Блок ближней радиосвязи выполнен по спецификации Bluetooth и реализует физическое соединение, обеспечивая надежный обмен информацией между персональными устройствами на доступной радиочастоте. Радиус действия небольшой – до 100 метров, но низкая потребляемая мощность (менее 0,1 Вт) и высокий «интеллектуальный» потенциал делают модули Bluetooth перспективными для осуществления взаимодействия практически любых электронных устройств [7].

Возможность самоорганизации устройств с модулями Bluetooth в небольшие пикосети, включающие от 7 до 256 абонентов (рис. 2), является основным преимуществом технологии. Все узлы такой сети работают на одной частоте и разделяют общий канал. Главный узел может поддерживать 7 активных клиентских узлов и до 255 пассивных (спящих) узлов (переведенных управляющим узлом в режим пониженного энергопотребления). Несколько пикосетей могут связываться друг с другом через мосты. Объединенные вместе пикосети составляют рассеянную (scatternet) сеть. Поскольку в каждой пикосети имеется свой master, последовательность и фазы переключения их частот не будут совпадать. Если пикосети взаимодействуют друг с другом, это приводит к понижению пропускной способности. Устройство Bluetooth может выступать в качестве клиента в нескольких пикосетях, но главным узлом (master) может быть только в одной пикосети.

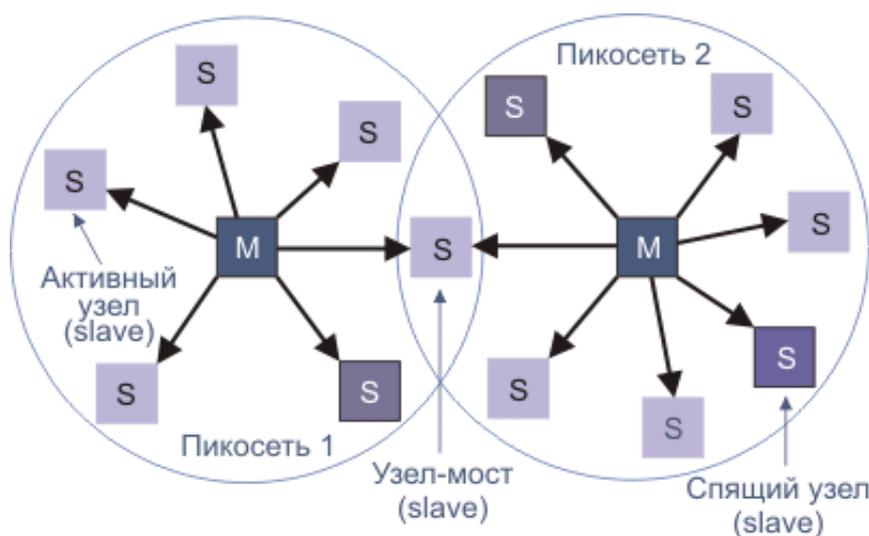


Рис. 2. Структурная схема пикосети Bluetooth

В качестве главного узла (master) в пикосети выступает БВС из гетерогенной группы, а в качестве узлов в пикосети выступают малоподвижные абоненты, например пострадавшие в пределах зоны ЧС. В случае, если радиус действия пикосети превышает номинальную даль-

ность действия передатчика, то для обеспечения связи в удаленных частях пикосети необходимо использовать повторители, выполняющие роль ретрансляторов. Радиointерфейс Bluetooth может работать в нескольких режимах. В активном режиме устройство Bluetooth участвует в работе канала передачи данных. Три остальных режима (ждущий, прослушивания, парковки) характеризуются низким энергопотреблением. Основой модуля BLE 112 (Bluetooth 4,0), определяющей всю идеологию и отличительные особенности, является базовый чипсет Texas Instrument CC2540, представляющий собой однокристалльную сборку SoC – 65 нм/2,4 ГГц. Основные характеристики BLE (Bluetooth с низким энергопотреблением) приведены в табл. 1 [7].

Таблица 1

Параметры Bluetooth low energy (CC2540)

Параметры	Мин.	Тип.	Макс.	Ед.изм
Условия работы				
Диапазон частот	2402		2480	МГц
Пропускная способность	–	1000	24000	МБ/сек
Напряжение питания	2	–	3,6	В
Температура окружающего воздуха	–40	–	+85	°С
Выходная мощность	–20	–	+4	дБм
Прием				
Чувствительность приемника	–	–93	–	дБм
Подавление сигнала соседнего канала, +1 МГц	–	5	–	дБ
Подавление сигнала соседнего канала, –1 МГц	–	5	–	дБ
Подавление сигнала соседнего канала, +2 МГц	–	30	–	дБ
Подавление сигнала соседнего канала, –2 МГц	–	30	–	дБ
Потребление тока				
Потребление тока, прием	–	19,6	–	мА
Потребление тока, передача, +5 дБм	–	31,6	–	мА
Потребление тока, передача, 0 дБм	–	27	–	мА
Потребление тока, «спящий» режим	–	0,4	–	мА

Все необходимые элементы для создания устройств с поддержкой технологии Bluetooth 4.0 находятся на одном кристалле BLE 112.

При разработке структурной схемы блока средней радиосвязи (модуля Wi-Fi) авторами предлагается использовать архитектуру «точка – много точек» [8]. В этом режиме точки доступа обеспечивают связь клиентских компьютеров (рис. 3).

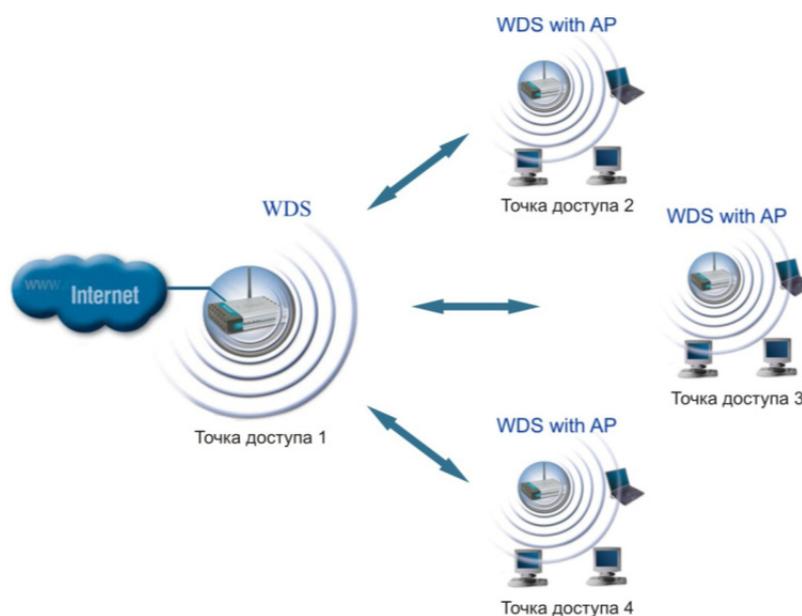


Рис. 3. Структурная схема блока средней радиосвязи

Точку доступа можно рассматривать как беспроводной коммутатор. Клиентские станции не связываются непосредственно одна с другой, а связываются с точкой доступа, и она уже направляет пакеты адресатам.

Термин *WDS* (Wireless Distribution System) расшифровывается как «распределенная беспроводная система». В этом режиме точки доступа соединяются только между собой, образуя мостовое соединение. При этом каждая точка может соединяться с несколькими другими точками. Все точки в этом режиме должны использовать одинаковый канал, поэтому количество точек, участвующих в образовании моста, не должно быть чрезмерно большим.

Термин *WDS with AP* (*WDS with Access Point*) обозначает «распределенная беспроводная система, включая точку доступа», т.е. с помощью этого режима можно организовать не только мостовую связь между точками доступа, но и одновременно подключить клиентские компьютеры. В качестве адресатов выступают главные узлы (masters) пикосетей Bluetooth (см. рис. 2).

Структурная схема блока средней радиосвязи позволяет объединять беспроводные LAN, находящиеся на расстояниях до нескольких километров.

Точка доступа 1 на рис. 3 представляет собой комплект приемопередающего оборудования МТМК (см. рис. 1), обеспечивающего передачу информации с блока беспроводной связи в блок спутниковой связи.

Структура блока дальней радиосвязи (системы спутниковой связи (ССС)) определяется структурой земной станции (ЗС). По критерию стоимости выбираем ЗС типа *VSAT* (*VSAT – Very Small Aperture Terminal*), связанных с одной главной ЗС (*MES – Master Earth Station*). Оборудование *VSAT* оптимизируется под предоставление конкретных услуг, таких как телемедицина и служба чрезвычайных ситуаций [9].

Блок дальней радиосвязи осуществляет прием–передачу данных, аудиосигнала, видеосигнала или их комбинаций в цифровом виде. Терминалы *VSAT* общаются между собой посредством транзита с обработкой через главную ЗС – *MES*. Топология таких сетей является звездообразной. Структурная схема *VSAT* приведена на рис. 4.

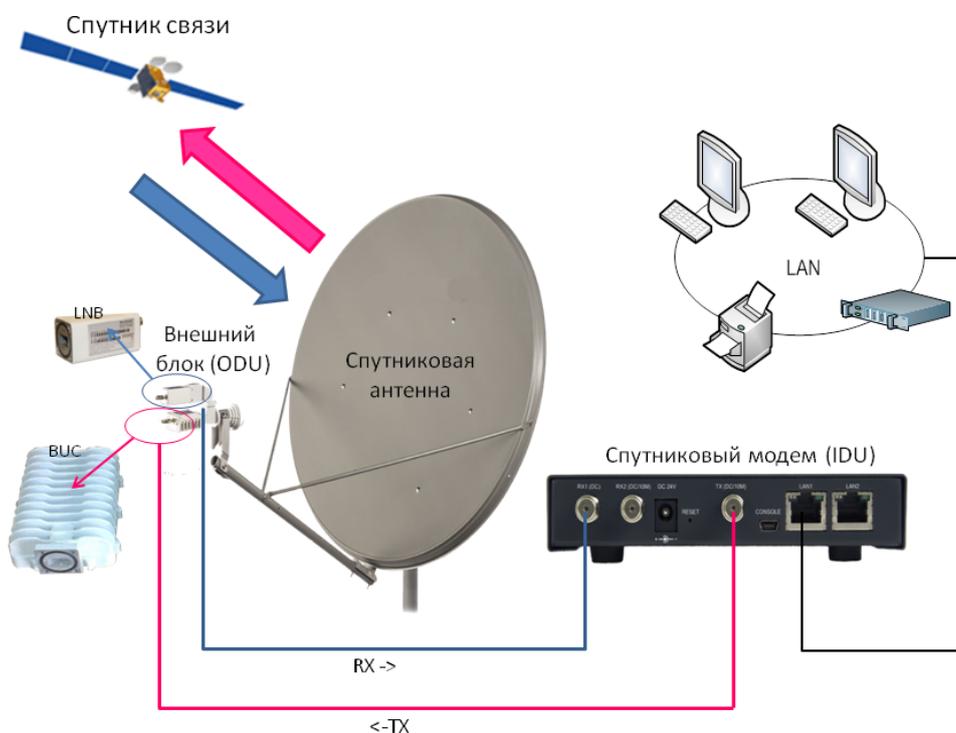


Рис. 4. Структурная схема VSAT

Терминал *VSAT* состоит из трех основных элементов: антенной системы, наружного блока (*Out Door Unit, ODU*), размещаемого непосредственно на антенне, и внутреннего (*In Door Unit, IDU*), устанавливаемого в помещении пользователя. Диаметр антенной системы составляет $1,2 \div 1,8$ м.

Заключение и выводы

По мнению авторов, построение на основе принципа иерархии подсистемы связи мобильного телемедицинского комплекса, оснащенного гетерогенной группой беспилотных воздушных судов и функционирующего в условиях ЧС, позволяет решать ресурсоемкие и сложные задачи в медицине и при ликвидации последствий ЧС.

При оснащении пострадавших в ЧС средствами контроля функционального состояния организма и средствами ближней связи на основе Bluetooth с низким энергопотреблением, объединенными в пикосети с главным узлом (master) в пикосети, расположенным на БВС из гетерогенной группы, появляется возможность своевременного оказания медицинской помощи.

Благодаря средствам радиосвязи средней дальности, которыми оснащены БВС гетерогенной группы, оператор МТМК оперативно реагирует на изменение обстановки в зоне ЧС.

Средства дальней радиосвязи обеспечивают телемедицинские консультации.

Таким образом, для минимизации медицинских последствий ЧС оснащение современного МТМК должно объединять в себе мощный компьютер, сопрягаемый с разнообразным медицинским оборудованием, средства ближней, средней и дальней беспроводной связи, средства видеоконференции и средства IP-вещания.

Список литературы

1. Патент 2694528 РФ. Способ проведения поисково-спасательных работ / Шерстнев В. В., Бодин О. Н., Безбородова О. Е. [и др.] ; № 2018139491 ; заявл. 07.11.2018 ; опубл. 16.07.2019, Бюл. № 20. 31 с.
2. Ермолов И. Л., Хрипунов С. П. Проблемы группового применения робототехнических комплексов и пути их решения // Экстремальная робототехника. 2018. Т. 1, № 1. С. 279–285.
3. Хрипунов С. П., Васильев С. В., Благодарящев И. В. Методический подход к синтезу интеллектуальной информационно-управляющей системы группового применения робототехнических комплексов военного назначения // Радиотехника, Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. № 2, т. 15.
4. Буравлев А. И., Русанов И. П. Модель оценки эффективности боевых систем // Военная мысль. 2009, № 5.
5. Texas Instruments: 2.4-GHz Bluetooth low energy System-on-Chip. CC2540F128, CC2540F256, SWRS084. 2010. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2540.pdf>
6. Довгаль В. А., Довгаль Д. В. Анализ систем коммуникационного взаимодействия дронов, выполняющих поисковую миссию в составе группы // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. 4: Естественно-математические и технические науки. 2020. № 4. С. 87–94.
7. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов. 4-е изд. СПб. : Питер, 2010. 944 с.
8. Колубакин В. Что такое VSAT // Телеспутник. 2015. № 6. С. 6–8.

References

1. Patent 2694528 Russian Federation. Method of search and rescue operations. Sherstnev V.V., Bodin O.N., Bezborodova O.E. [et al.]; No. 2018139491; appl. 07.11.2018; publ. 16.07.2019, bull. № 20. (In Russ.)
2. Ermolov I.L., Khripunov S.P. Problems of group application of robotic complexes and ways of their solution. *Ekstremal'naya robototekhnika = Extreme robotics*. 2018;1(1):279–285. (In Russ.)
3. Khripunov S.P., Vasil'ev S.V., Blagodaryashchev I.V. Methodical approach to the synthesis of an intelligent information and control system for the group application of robotic complexes for military purposes. *Radio-tekhnika, Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy = Radio engineering, Information measuring and control systems*. 2017;15(2). (In Russ.)
4. Buravlev A.I., Rusanov I.P. Model for evaluating the effectiveness of combat systems. *Voennaya mysl' = Military thought*. 2009;(5). (In Russ.)
5. Texas Instruments: 2.4-GHz Bluetooth low energy System-on-Chip. CC2540F128, CC2540F256, SWRS084. 2010. Available at: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2540.pdf>
6. Dovgal' V.A., Dovgal' D.V. Analysis of communication interaction systems of drones performing a search mission as part of a group. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskije nauki = Bulletin of the Adygea State University. Ser. 4: Natural-mathematical and technical sciences*. 2020;(4):87–94. (In Russ.)
7. Oliner V.G., Oliner N.A. *Kompyuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly: uchebnik dlya vuzov = Computer networks. Principles, technologies, protocols : textbook for universities*. 4th ed. Saint Petersburg: Peter, 2010:944. (In Russ.)
8. Kolyubakin V. What is VSAT. *Telesputnik = Telesputnik*. 2015;(6):6–8. (In Russ.)

*Информация об авторах / Information about the authors***Нурлан Баянбай**

старший лектор института автоматизации
и информационных технологий,
Казахский национальный исследовательский
университет имени К. И. Сатпаева
(Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а)
E-mail: bayanbay_nur@mail.ru

Nurlan Bayanbai

Senior lecturer of the Institute of Automation
and Information Technologies,
K.I. Satpayev Kazakh National Research University
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

Касымбек Адильбекович Ожикенов

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой робототехники
и технических средств автоматизации,
Казахский национальный исследовательский
университет имени К. И. Сатпаева
(Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а)
E-mail: k.ozhikenov@satbayev.university

Kassymbek A. Ozhikenov

Candidate of technical sciences, associate professor,
head of the sub-department of robotics
and technical means of automation,
K.I. Satpayev Kazakh National Research University
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

Владислав Владимирович Шерстнев

соискатель,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Vladislav V. Sherstnev

Applicant,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Оксана Евгеньевна Безбородова

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой техносферной
безопасности,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ot@pnzgu.ru

Oksana E. Bezborodova

Candidate of technical sciences, associate professor,
head of the sub-department of technosphere safety,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Олег Николаевич Бодин

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационно-
измерительной техники
и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: bodin_o@inbox.ru

Oleg N. Bodin

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 17.06.2021

Поступила после рецензирования/Revised 24.06.2021

Принята к публикации/Accepted 29.09.2021