

Оценка дальности передачи видеoinформации различного качества при мониторинге чрезвычайных ситуаций с беспилотного летательного аппарата

М. Ю. Алемпьев¹, Д. С. Коптев¹ ✉, В. Г. Довбня¹,
Е. В. Скрипкина²

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

² Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А. А. Леонова
ул. Гагарина, д. 42, Московская область, г. Королев 141074, Российская Федерация

✉ e-mail: d.s.koptev@mail.ru

Резюме

Целью исследования является оценка максимальной дальности передачи видеoinформации различного качества с беспилотного летательного аппарата для прогнозирования его возможностей при мониторинге чрезвычайной ситуации.

Методы исследования основаны на понятиях теории радиоэлектроники, теории диагностики и прогностики технического состояния беспилотных летательных аппаратов. Используются методы многокритериального анализа, параметрического и структурного синтеза. Проанализированы принципы передачи видеoinформации с беспилотных летательных аппаратов, используемых для мониторинга чрезвычайных ситуаций. Произведена критическая оценка максимальной дальности передачи видеoinформации с беспилотных летательных аппаратов при мониторинге чрезвычайных ситуаций.

Результаты. Получены графики зависимости энергетического запаса в линии радиосвязи между беспилотным летательным аппаратом и наземным комплексом управления, позволяющие оценить максимальные значения дальности передачи видеoinформации различного качества в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц при мониторинге чрезвычайных ситуаций. Максимальная дальность прямой видимости между БПЛА и НКУ слабо зависит от высоты подъема антенны мобильного НКУ и при высоте подъема БПЛА от 100 до 500 м составляет от 40 до 85 км. Максимальная дальность организации передачи видеoinформации HD качества с БПЛА методом ФМ-4 с использованием турбокодирования Turbo 7/8 в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц составляет 3 и 7 км соответственно, а при передаче видеoinформации FHD качества с БПЛА методом КАМ-16 с использованием турбокодирования Turbo 7/8 в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц составляет 1,4 и 3,3 км.

Заключение. Развитие метода определения максимальной дальности передачи видео- и командотелеметрической информации позволяет более точно оценить энергетический запас в линии радиосвязи с беспилотным летательным аппаратом. В качестве перспективных направлений исследований в области использования беспилотных летательных аппаратов при чрезвычайных ситуациях следует рассматривать беспилотные летательные аппараты для пеленгации и обнаружения спасательных радиомаяков пострадавших при проведении поисково-спасательных операций.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; наземный комплекс управления; дальность связи; линия радиосвязи; вид модуляции; турбокодирование.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Оценка дальности передачи видеoinформации различного качества при мониторинге чрезвычайных ситуаций с беспилотного летательного аппарата / М. Ю. Алемпьев, Д. С. Коптев, В. Г. Довбня, Е. В. Скрипкина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 2. С. 31–44. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-31-44>.

Поступила в редакцию 29.03.2023

Подписана в печать 20.04.2023

Опубликована 30.06.2023

Evaluation of the Transmission Range of Videoinformation of Various Quality when Monitoring Emergency Situations from an Unmanned Aerial Vehicle

Mikhail Y. Alempiev¹, Dmitry S. Koptev¹ ✉,
Vitaly G. Dovbnya¹, Elena V. Skripkina²

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² Leonov University of Technology
42 Gagarin Str., Moscow Region, Korolev 141070, Russian Federation

✉ e-mail: d.s.koptev@mail.ru

Abstract

The purpose of research The aim of the study is to estimate the maximum transmission range of video information of various quality from an unmanned aerial vehicle to predict its capabilities when monitoring an emergency situation.

Methods. Research methods are based on the concepts of the theory of radio electronics, the theory of diagnostics and prognostics of the technical condition of unmanned aerial vehicles. The methods of multicriteria analysis, parametric and structural synthesis were used. The principles of transmitting video information from unmanned aerial vehicles used to monitor emergency situations are analyzed. A critical assessment of the maximum transmission range of video information from unmanned aerial vehicles during emergency monitoring has been made.

Results. Graphs of the dependence of the energy reserve in the radio communication line between the unmanned aerial vehicle and the ground control system have been obtained, allowing to estimate the maximum values of the transmission range of video information of various quality in the 2.4 and 5.8 GHz bands when monitoring emergencies. The maximum line-of-sight range between the UAV and the UAV slightly depends on the lifting height of the antenna

of the mobile UAV and at the lifting height of the UAV from 100 to 500 m is from 40 to 85 km. The maximum range of HD quality video transmission with the FM-4 UAV using Turbo 7/8 turbocoding in the 2.4 and 5.8 GHz bands is 3 and 7 km, respectively, and when transmitting FHD quality video information with the CAM-16 UAV using Turbo 7/8 turbocoding in the 2.4 and 5.8 GHz bands is 1.4 and 3.3 km.

Conclusion. The development of a method for determining the maximum transmission distance of video and command-telemetry information allows for a more accurate assessment of the energy reserve in the radio communication line with an unmanned aerial vehicle. Unmanned aerial vehicles for direction finding and detection of rescue beacons of victims during search and rescue operations should be considered as promising areas of research in the field of the use of unmanned aerial vehicles in emergency situations.

Keywords: unmanned aerial vehicle; ground control system; communication range; radio communication line; type of modulation; turbo coding.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Alempiev M. Y., Koptev D. S., Dovbnya V. G., Skripkina E. V. Evaluation of the Transmission Range of Video Information of Various Quality when Monitoring Emergency Situations from an Unmanned Aerial Vehicle. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023; 13(2): 31–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-31-44>.

Received 29.03.2023

Accepted 20.04.2023

Published 30.06.2023

Введение

В настоящее время для решения широкого класса задач, связанных с мониторингом чрезвычайных ситуаций, сельского хозяйства, строительства, транспорта, медицины, геодезии, картографии, журналистики и других сфер общества, нашли широкое применение беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

В Министерстве чрезвычайных ситуаций МЧС России основными задачами применения БПЛА являются [1]:

- обнаружение чрезвычайных ситуаций (ЧС);
- участие в ликвидации ЧС;
- поиск и спасение пострадавших;
- оценка ущерба от ЧС.

По состоянию на конец 2022 г. на оснащении подразделений МЧС России находятся более 1700 единиц беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) вертолетного и 40 – самолетного типов [2]. Из них подавляющее большинство согласно универсальной классификации

Международной ассоциации по беспилотным системам AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International) относятся к классу микро со следующими параметрами [3]:

- взлетная масса – до 5 кг;
- дальность полета – до 10 км;
- высота полета – до 500 м;
- максимальная скорость полета – до 60 км/ч;
- продолжительность полета – до 1 ч.

Целью статьи является анализ возможностей беспилотных летательных аппаратов, а именно определение максимальной возможной дальности передачи видеoinформации различного качества при мониторинге чрезвычайных ситуаций.

Материалы и методы

Радиолиния между БПЛА и наземным комплексом управления (НКУ) состоит из командно-телеметрического (КТ) канала и канала передачи видеoinформации (ПВИ) с БПЛА.

Для связи БПЛА и НКУ в городских условиях в подавляющем большинстве случаев с целью снижения уровня помех используют диапазон 5,8 ГГц, а на открытой местности для получения большей дальности – 2,4 ГГц. При этом необходимо учитывать, что безлицензионная работа в диапазоне 2,4 ГГц разрешена только для внутриофисного оборудования, что, в свою очередь, обуславливает необходимость получения соответствующей лицензии.

Для КТ-канала современных БПЛА малого класса вертолетного типа наиболее характерным является применение помехоустойчивых и разведзащищенных режимов – режим «быстрой псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ)».

Так как к КТ-каналу предъявляются меньшие требования по скорости передачи, чем к каналу ПВИ (табл.), в данной статье рассматривается именно канал ПВИ в условиях ЧС [4; 5; 6].

Таблица. Основные параметры КТ-канала и канала ПВИ

Table. Main parameters of CT-channel and PVI channel

Наименование параметра линии радиосвязи Name of the parameter of the radio communication line	Значение параметра Parameter value	
	КТ-канал CT channel	канал ПВИ PVI channel
Вид модуляции	ЧМн-2, ФМ-2, OFDM	ФМ-4, КАМ-16
Максимально допустимая мощность передатчика, дБм	20	20
Скорость передачи командно-телеметрических данных, кбит/с	от 56 до 115,2	–
Максимальная скорость передачи видеoinформации, Мбит/с: FHD (1920×1080, 24/25/30 p) HD (1280×720, 24/25/30 p)	–	50 (H.265); 60 (H.264) 25 (H.265); 30 (H.264)
Вероятность битовой ошибки, не более	10 ^{–7}	10 ^{–6}

Канал связи между БПЛА и НКУ в общем случае является каналом с многолучевым распространением радиоволн (PPV), который характеризуется наличием явлений переотражения, рассеивания и рефракции, что приводит к появлению различного рода замираний сигнала. При этом максимальная дальность радиосвязи (км) между НКУ и БПЛА ограничена прямой видимостью, которая определяется следующим выражением [7; 8]:

$$R_0 = 3,57 \left(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2} \right), \quad (1)$$

где H_1 – высота подъема антенны НКУ, м;
 H_2 – высота подъема БПЛА, м.

Антенна НКУ, как правило, является мобильной и устанавливается на высоте от 1 до 3 м (типовые значения) [9]. Графики зависимости максимальной дальности прямой видимости от высоты подъема БПЛА для типовых значений подъема антенны мобильного НКУ приведены ниже (рис.).

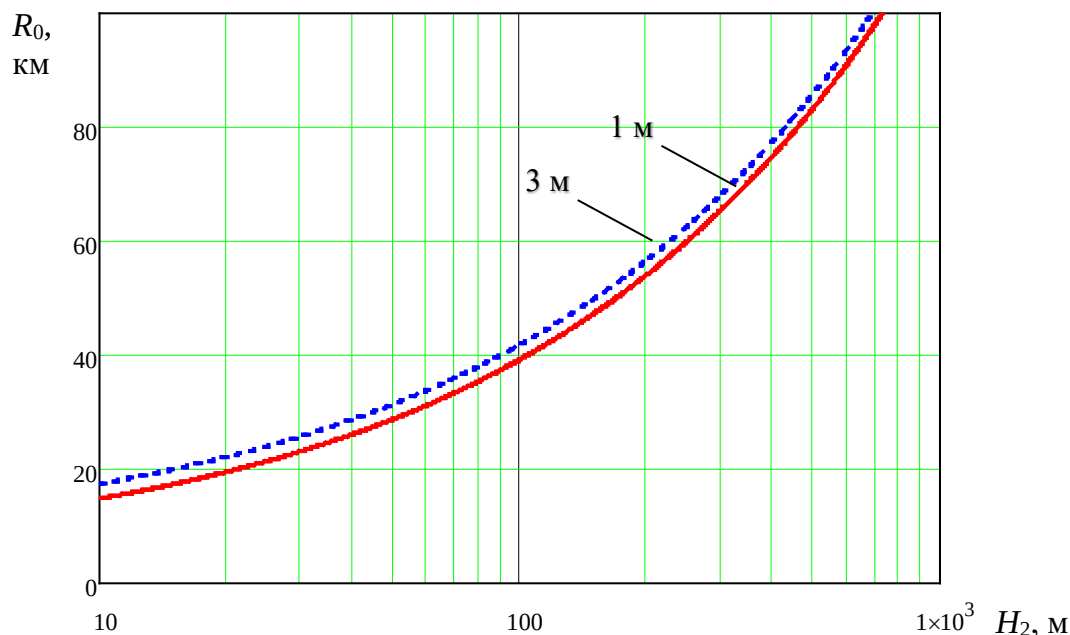


Рис. 1. Графики зависимости дальности прямой видимости от высоты подъема БПЛА для типовых значений подъема антенны НКУ

Fig. 1. Graphs of the dependence of the line-of-sight range on the height of the UAV lift for typical values of the NKU antenna lift

Как следует из графиков, приведенных на рисунке 1, максимальная дальность прямой видимости между БПЛА и НКУ слабо зависит от высоты подъема антенны мобильного НКУ и при высоте подъема БПЛА от 100 до 500 м составляет от 40 до 85 км. Поэтому на практике высоту подъема антенны НКУ выбирают, прежде всего, исходя из необходимости снижения влияния многолучевого РРВ, с учетом возможных препятствий на пути распространения сигнала [10; 11].

Поскольку мощность излучаемого сигнала ограничена значением 20 дБм, а дальность радиосвязи – прямой видимостью, целесообразно оценить максимальную дальность передачи видеоинформации различного качества с БПЛА на НКУ при мониторинге чрезвычайных ситуаций.

В качестве исходных данных для расчетов примем следующие:

- антенны БПЛА и НКУ коллинеарные с коэффициентом усиления 8 дБи в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц соответственно;

- передача видеоинформации HD- и FHD-качества (видеокодер H.265) осуществляется с использованием видов модуляции ФМ-4 и КАМ-16 соответственно и методов помехоустойчивого кодирования [12].

Мощность сигнала P_R на входе приемника НКУ может быть записана в виде

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L}, \quad (2)$$

где P_T – мощность, подводимая к антенне передатчика, Вт; G_T, G_R – коэффициенты усиления передающей антенны БПЛА и приемной антенны НКУ соответственно; L – энергетические потери

сигнала в непрерывном канале связи ($L > 1$).

Мощность шума P_N , приведенная к входу приемника НКУ, может быть определена из следующего выражения:

$$P_N = N_0 B, \quad (3)$$

где $N_0 = kT_R$ – односторонняя спектральная плотность мощности шума, дБВт/Гц; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/К; T_R – шумовая температура приемника НКУ, К; $B = 1/T$ – ширина полосы пропускания приемника при согласованной фильтрации, Гц; T – длительность символа, с.

Шумовая температура приемника НКУ определяется, прежде всего, шумовой температурой антенны, которая равна

$$T_R \approx T_A = 290 \text{ К}. \quad (4)$$

Длительность передаваемого символа определяется выражением

$$T = r_{FEC} \log_2 M / R, \quad (5)$$

где R – информационная скорость, бит/с; M – позиционность сигнала; r_{FEC} – результирующая кодовая скорость.

Тогда с учетом выражений (2) – (5) отношение сигнал / шум, приведенное к входу приемника линии радиосвязи, можно записать в следующем виде:

$$h^2 = \frac{P_R}{P_N} = \frac{E_S T}{N_0 B} = P_T G_T G_R \frac{r_{FEC} \log_2 M}{k T_R R L}, \quad (6)$$

где P_R – мощность сигнала; $P_N = N_0 B$ – мощность шума; $E_S = P_R T$ – средняя энергия символа.

В большинстве практических случаев расчет отношения сигнал / шум

удобней производить в децибелах по следующей формуле [13; 14]:

$$h_{[дБ]}^2 = 228,6 + P_{T[дБВт]} + G_{T[дБи]} + G_{R[дБи]} - 10 \lg T_R - 10 \lg \frac{R}{r_{FEC} \log_2 M} - L_{[дБ]}. \quad (7)$$

Очевидно, что для обеспечения приема с вероятностью ошибки не более заданной P_b (10^{-6} для передачи видеoinформации) необходимо, чтобы энергетический запас в линии связи Δh^2 превышал запас на общие замирания:

$$\Delta h^2 = h^2 - h_0^2 \geq h_{fad}^2, \quad (8)$$

где h_0^2 – отношение сигнал / шум, обеспечивающее в потенциале заданную вероятность битовой ошибки (пороговое отношение сигнал / шум), дБ; h_{fad}^2 – энергетический запас в линии связи на общие замирания, дБ.

Запас на общие замирания положим равным 10 дБ, что соответствует большинству практических случаев.

Для сигналов ФМ-4 (QPSK) и КАМ-16 (QAM-16) пороговое отношение сигнал / шум составляет 13,6 и 20,6 дБ соответственно. В случае применения помехоустойчивого кодирования эта величина может быть существенно снижена. Так, например, при использовании мощных корректирующих кодов – турбокодов Turbo 7/8 ($r_{FEC} = 0,875$) пороговое отношение сигнал / шум может быть снижено до 7,3 и 14,1 дБ соответственно [15; 16].

Результаты и их обсуждение

Энергетические потери в непрерывном канале связи складываются из следующих составляющих:

$$L = L_0 + L_g + L_r + L_p + L_c, \quad (9)$$

где L_0 – энергетические потери в свободном пространстве, дБ; L_g – энергетические потери в атмосферных газах, дБ; L_r – энергетические потери в гидрометеорах, дБ; L_p – энергетические потери из-за поляризационного рассогласования антенн БПЛА и НКУ, дБ; L_c – энергетические потери, не связанные с распространением радиоволн (потери в разъёмных соединениях и фидере БПЛА и НКУ), дБ.

Энергетические потери в свободном пространстве определяются из выражения [17; 18]

$$L_0 = 10 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 10^3 \cdot r}{\lambda} \right)^2 = 92,44 + 20 \lg r + 20 \lg f, \quad (10)$$

где r – протяженность линии связи, км; $f = 0,3/\lambda$ – несущая частота сигнала, ГГц; λ – длина волны, м.

На рисунке 2 приведены графики зависимости энергетических потерь в свободном пространстве от расстояния до БПЛА для несущих частот сигнала 2,4 и 5,8 ГГц.

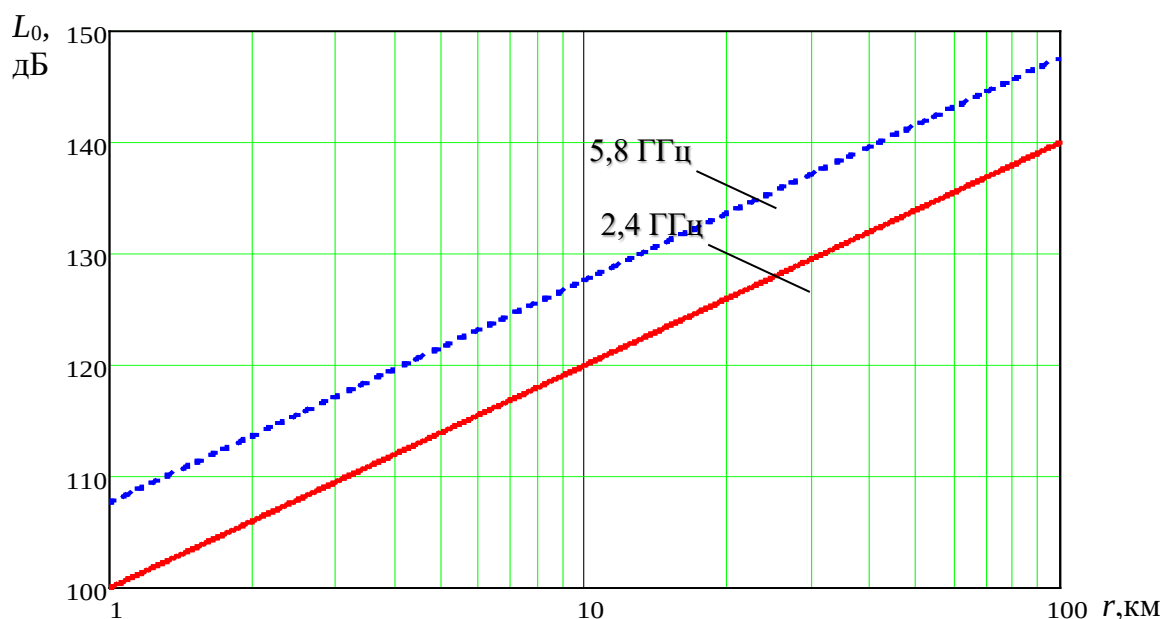


Рис. 2. Графики зависимости энергетических потерь в свободном пространстве от расстояния до БПЛА

Fig. 2. Graphs of the dependence of energy losses in free space on the distance to the UAV

Анализ графиков, приведенных на рисунке 2, показывает, что максимальные энергетические потери в свободном пространстве на расстоянии БПЛА до 10 км составляют не более 120 и 128 дБ в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц соответственно.

Энергетические потери из-за поляризационного рассогласования и не связанные с распространением радиоволн можно положить равными 3 и 1 дБ соответственно. Потерями в атмосферных газах и гидрометеорах в диапазоне до

6 ГГц можно пренебречь, т. к. они на расстоянии до БПЛА 10 км не превышают 0,1 дБ [19; 20; 21].

На рисунках 3 и 4 приведены графики зависимости энергетического

запаса в линии радиосвязи между БПЛА и НКУ при передаче видеоинформации HD и FHD качества соответственно в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц, полученные с использованием выражений (7) – (10).

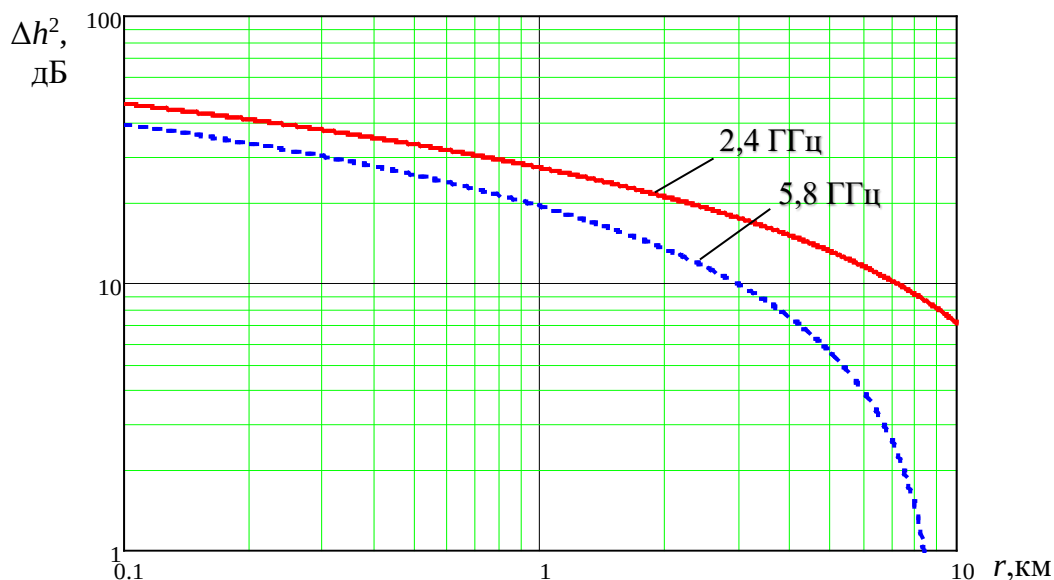


Рис. 3. Графики зависимости энергетического запаса в линии радиосвязи между БПЛА и НКУ при передаче видеоинформации HD (H.265) качества методом ФМ-4 в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц

Fig. 3. Graphs of the dependence of the energy reserve in the radio communication line between the UAV and the NCU during the transmission of video information HD (H.265) quality by the FM-4 method in the 2,4 and 5,8 GHz bands

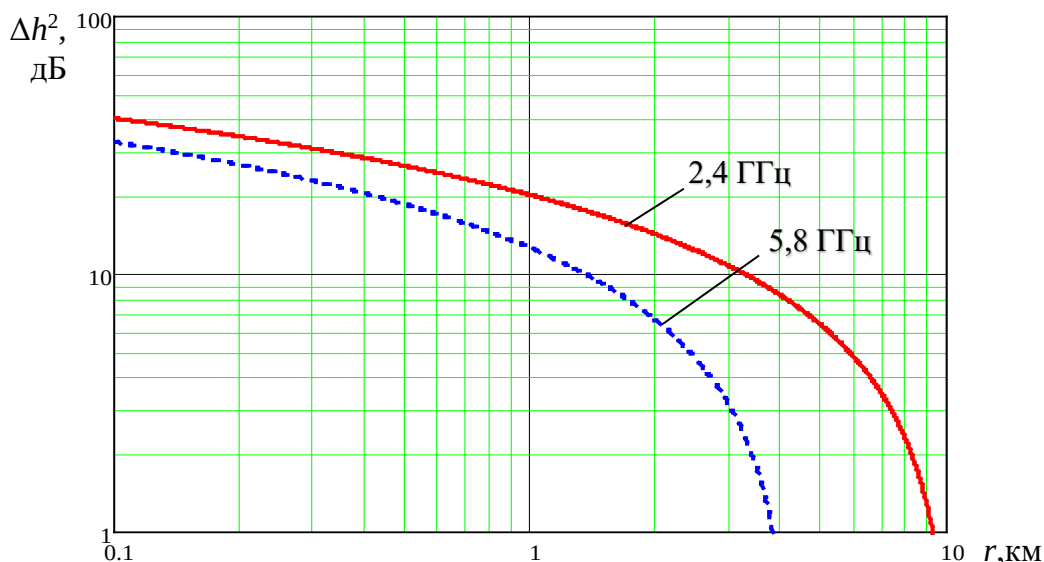


Рис. 4. Графики зависимости энергетического запаса в линии радиосвязи между БПЛА и НКУ при передаче видеоинформации FHD (H.265) качества методом КАМ-16 в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц

Fig. 4. Graphs of the dependence of the energy reserve in the radio communication line between the UAV and the NCU when transmitting FHD (H.265) quality video information by the QAM-16 method in the 2,4 and 5,8 GHz bands

Анализ графиков, приведенных на рисунках 3 и 4, показывает:

- максимальная дальность организации передачи видеоинформации HD качества с БПЛА методом ФМ-4 с использованием турбокодирования Turbo 7/8 в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц составляет 3 и 7 км соответственно;

- максимальная дальность организации передачи видеоинформации FHD качества с БПЛА методом КАМ-16 с использованием турбокодирования Turbo 7/8 в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц составляет 1,4 и 3,3 км соответственно.

Выводы

Итак, в статье:

- выполнена оценка максимальной дальности радиосвязи между БПЛА и НКУ, которая ограничена прямой видимостью и слабо зависит от высоты подь-

ема антенны мобильного НКУ и при высоте подъема БПЛА от 100 до 500 м составляет от 40 до 85 км;

- приведены аналитические выражения для оценки энергетического потенциала линии радиосвязи прямой видимости при мониторинге чрезвычайных ситуаций, учитывающие параметры приема-передающего тракта и энергетические потери в непрерывном канале связи;

- получены графики зависимости энергетического запаса в линии радиосвязи между БПЛА и НКУ при передаче видеоинформации различного качества методами ФМ-4 и КАМ-16 с использованием турбокодирования (Turbo 7/8);

- оценены максимальные дальности передачи видеоинформации HD- и FHD-качества, которые составили от 3 до 7 км и от 1,4 до 3,3 км в диапазонах 2,4 и 5,8 ГГц соответственно.

Список литературы

1. Попов Н. И., Ефимов С. В. Использование беспилотных летательных аппаратов в МЧС России // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Воронеж, 2016. С. 149–151. URL: <https://www.masters.donntu.ru/2017/etf/nizhenets/library/article2.htm> (дата обращения: 05.03.2023).

2. Салахутдинов И. Т. Подход к оценке реализуемости создания авиационной системы (на примере транспортной беспилотной авиационной системы) // Modern Economy Success. 2023. № 1. С. 231–243.

3. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам: монография. СПб.: Научное издание, 2020. 204 с.

4. Андронов В. Г., Чуев А. А., Князев А. А. Модель параметров отклонений маршрута полёта беспилотных летательных аппаратов от заданной траектории // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т. 25, № 4. С. 145–161.

5. Салахутдинов И. Т. Анализ переоснащения авиационной транспортной системы в транспортные беспилотные авиационные системы на различных этапах жизненного цикла // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. 2020. № 7. С. 67–71.

6. Садовская Е. В. Применении сетевых технологий как решение проблемы передачи больших объёмов данных на большие расстояния при общении БПЛА-наземный пункт управления // Гагаринские чтения – 2020: сборник тезисов докладов. М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. С. 643–644.

7. Мухин И. Е., Ветрова А. С. Выбор антенн для малых беспилотных летательных аппаратов // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения: сборник научных статей по материалам VI Всероссийской научно-практической конференции, Курск, 14–15 апреля 2022 года / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2022. С. 45–50.

8. Слюсар В. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2010. № 3(101). С. 80–87.

9. Интеллектуальная система обработки изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов / С. А. Филист, Р. А. Томакова, Н. Г. Нефедов [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 4. С. 64–85.

10. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / под ред. А. В. Назаренко, Л. А. Худяковой. 2-е изд. М.: Вильямс, 2003. 1104 с.

11. Довбня В. Г., Азиатцев В. Е., Михайлов С. Н. Помехоустойчивость радиоприемных систем цифровых линий связи: монография / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2017. 175 с.

12. Малоразмерные беспилотные летательные аппараты: задачи обнаружения и пути их решения / И. И. Олейник, А. А. Черноморец, В. Г. Андронов [и др.]; Юго-Западный государственный университет. Курск, 2021. 171 с.

13. Техническая реализация высокоскоростного информационного канала радиосвязи с беспилотного летательного аппарата на наземный пункт управления / Д. Г. Пантенков, Н. В. Гусаков, А. Т. Егоров [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15, № 5. С. 52–71.

14. Диденко М. Г. Радиосигналы в спутниковых системах связи. URL: <https://www.studylib.net/doc/26117799/radiosignaly-v-sputnikovyh-sistemah-svyazi> (дата обращения: 17.03.2023).

15. Анализ стандартов передачи данных, связи и управления между наземным пунктом управления и беспилотным летательным аппаратом / З. А. Дмитриев, А. И. Знаменский, Н. Ю. Кундин [и др.] // Научная мысль. 2022. Т. 19, № 1-1(43). С. 87–91.

16. Андронов В. Г., Чуев А. А., Луценко М. Н. Области и особенности применения различных типов беспилотных летательных аппаратов // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения: сборник научных статей по материалам V Всероссийской научно-практической конференции, Курск, 15–16 апреля 2021 года / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2021. С. 316–323.

17. Яронова Н. В., Аметова А. А. Использование беспилотных летательных аппаратов для передачи данных // *Universum: технические науки*. 2021. № 11-2(92). С. 92–94.
18. Данилов Д. В., Емельев К. С. О повышении помехоустойчивости физического интерфейса беспилотного летательного аппарата // *Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: сборник материалов X Международной научно-практической конференции*, Чебоксары, 21 мая 2018 года / редколлегия: О. Н. Широков [и др.]. Чебоксары: Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2018. С. 152–154.
19. Чуев А. А. Принципы организации автономной навигации беспилотных летательных аппаратов // *Исторические, философские, методологические проблемы современной науки: сборник статей III Международной научной конференции молодых ученых*, Курск, 20 мая 2020 года. Курск: Университетская книга, 2020. С. 481–485.
20. Чуднов А. М., Губская О. А., Кичко Я. В. Методика анализа вероятностно-временных характеристик обмена сообщениями в комплексе беспилотных летательных аппаратов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2021. № 11. С. 117–124.
21. Пантенков Д. Г. Результаты анализа наземных испытаний комплекса средств спутниковой радиосвязи для беспилотных летательных аппаратов // *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*. 2019. № 69. С. 42–51.

References

1. Popov N. I., Efimov S. V. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v MChS Rossii [The use of unmanned aerial vehicles in the Ministry of Emergency Situations of Russia]. Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsii [Problems of ensuring safety in the aftermath of emergencies]. Voronezh, 2016, pp. 149–151. Available at: <https://www.masters.donntu.ru/2017/etf/nizhenets/library/article2.htm>. (accessed 05.03.2023)
2. Salakhutdinov I. T. Podkhod k otsenke realizuemosti sozdaniya aviatsionnoi sistemy (na primere transportnoi bespilotnoi aviatsionnoi sistemy) [An approach to assessing the feasibility of creating an aviation system (on the example of a transport unmanned aircraft system)]. *Modern Economy Success*, 2023, no. 1, pp. 231–243.
3. Makarenko S. I. Protivodeistvie bespilotnym letatel'nykh apparatam [Countering unmanned aerial vehicles]. St. Petersburg, Science-intensive technologies Publ., 2020. 204 p.
4. Andronov V. G., Chuev A. A., Knyazev A. A. Model' parametrov otklonenii marshruta poleta bespilotnykh letatel'nykh apparatov ot zadannoi traektorii [Model of parameters of deviations of the flight route of unmanned aerial vehicles from a given trajectory]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 145–161.

5. Salakhutdinov I. T. Analiz pereosnashcheniya aviatsionnoi transportnoi sistemy v transportnye bespilotnye aviatsionnye sistemy na razlichnykh etapakh zhiznennogo tsikla [Analysis of the re-equipment of the aviation transport system into transport unmanned aircraft systems at various stages of the life cycle]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo = Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice, Series: Economics and Law*, 2020, no. 7, pp. 67–71.

6. Sadovskaya E. V. [The use of network technologies as a solution to the problem of transmitting large amounts of data over long distances when communicating UAV-ground control point]. *Gagarinskie chteniya – 2020. Sbornik tezisov dokladov* [Gagarin Readings – 2020. Collection of abstracts]. Moscow, Moscow Aviation Institute (National Research University) Publ., 2020, pp. 643–644. (In Russ.)

7. Mukhin I. E., Vetrova A. S. [The choice of antennas for small unmanned aerial vehicles]. *Infokommunikatsii i kosmicheskie tekhnologii: sostoyanie, problemy i puti resheniya. Sbornik nauchnykh statei po materialam VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kursk, 14–15 aprelya 2022 goda* [Infocommunications and space technologies: state, problems and solutions. Collection of scientific articles based on the materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference, Kursk, April 14–15, 2022]. Kursk, Southwest State University Publ., 2022, pp. 45–50. (In Russ.)

8. Slyusar V. Peredacha dannykh s borta BPLA: standarty NATO [Data transmission from the UAV: NATO standards]. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes = Electronics: Science, Technology, Business*, 2010, no. 3(101), pp. 80–87.

9. Filist S. A., Tomakova R. A., Nefedov N. G., eds. Intellekturnaya sistema obrabotki izobrazhenii, poluchaemykh s bespilot-nykh letatel'nykh apparatov [Intelligent image processing system obtained from unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Series: Management, Computer engineering, Computer science. Medical instrumentation = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2022, vol. 12, no. 4, pp. 64–85.

10. Sklyar B. Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye [Digital communication. Theoretical foundations and practical application]; ed. by A. V. Nazarenko, L. A. Khudyakova. 2nd ed. Moscow, Williams Publ., 2003. 1104 p.

11. Dovbnya V. G., Asiantsev V. E., Mikhailov S. N. Pomekhoustoichivost' radio-priemnykh sistem tsifrovyykh linii svyazi [Noise immunity of radio receiving systems of digital communication lines]. Kursk, Southwest State University Publ., 2017. 175 p.

12. Oleinik I. I., Chernomoretz A. A., Andronov V. G., eds. Malorazmernye bespilotnye letatel'nye apparaty: zadachi obnaruzheniya i puti ikh resheniya [Small-sized unmanned aerial vehicles: detection tasks and ways to solve them]. Kursk, Southwest State University Publ., 2021. 171 p.

13. Pantenkov D. G., Gusakov N. V., Egorov A. T., eds. Tekhnicheskaya realizatsiya vysokoskorostnogo informatsionnogo kanala radiosvyazi s bespilotnogo letatel'nogo apparata

na nazemnyi punkt upravleniya [Technical implementation of a high-speed information channel of radio communication from an unmanned aerial vehicle to a ground control point]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Bulletin of the Voronezh State Technical University*, 2019, vol. 15, no. 5, pp. 52–71.

14. Didenko M. G. Radiosignaly v sputnikovykh sistemakh svyazi [Radio signals in satellite communication systems]. Available at: <https://www.studylib.net/doc/26117799/radiosignaly-v-sputnikovykh-sistemah-svyazi>. (accessed 17.03.2023)

15. Dmitriev Z. A., Znamensky A. I., Kundin N. Y., eds. Analiz standartov peredachi dannykh, svyazi i upravleniya mezhdu nazemnym punktom upravleniya i bespilotnym letatel'nykh apparatom [Analysis of data transmission, communication and control standards between a ground control point and an unmanned aerial vehicle]. *Nauchnaya mysl' = Scientific Thought*, 2022, vol. 19, no. 1-1(43), pp. 87–91.

16. Andronov V. G., Chuev A. A., Lutsenko M. N. [Areas and features of the use of various types of unmanned aerial vehicles]. *Infokommunikatsii i kosmicheskie tekhnologii: sostoyanie, problemy i puti resheniya. Sbornik nauchnykh statei po materialam V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Infocommunications and space technologies: state, problems and solutions. Collection of scientific articles based on the materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference, Kursk, April 15–16, 2021]. Kursk, Southwest State University Publ., 2021, pp. 316–323. (In Russ.)

17. Yaronova N. V., Ametova A. A. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya peredachi dannykh [The use of unmanned aerial vehicles for data transmission]. *Universum: tekhnicheskie nauki = Universum: Technical Sciences*, 2021, no. 11-2(92), pp. 92–94.

18. Danilov D. V., Emelyev K. S. [On increasing the noise immunity of the physical interface of an unmanned aerial vehicle]. *Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendentsii i perspektivy razvitiya. Sbornik materialov X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Cheboksary, 21 maya 2018 goda* [Science, education, society: trends and prospects of development. Collection of materials of the X International Scientific and Practical Conference, Cheboksary, May 21, 2018]; ed. by O. N. Shirokov, eds. Cheboksary, Center for Scientific Cooperation "Interactive Plus" Publ., 2018, pp. 152–154. (in Russ.)

19. Chuev A. A. [Principles of the organization of autonomous navigation of unmanned aerial vehicles]. *Istoricheskie, filosofskie, metodologicheskie problemy sovremennoi nauki. Sbornik statei III Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh* [Historical, philosophical, methodological problems of modern science. Collection of articles of the 3rd International Scientific Conference of Young Scientists, Kursk, May 20, 2020]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2020, pp. 481–485. (In Russ.)

20. Chudnov A. M., Gubskaya O. A., Kichko Ya. V. Metodika analiza veroyatnostno-vremennykh kharakteristik obmena soobshcheniyami v komplekse bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Methodology for analyzing the probabilistic-temporal characteristics of messaging

in a complex of unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of Tula State University. Technical sciences*, 2021, no. 11, pp. 117–124.

21. Pantenkov D. G. Rezul'taty analiza nazemnykh ispytaniy kompleksa sredstv sputnikovoi radiosvyazi dlya bespilotnykh letatel'nykh apparatov [The results of the analysis of ground tests of the satellite radio communication complex for unmanned aerial vehicles]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University*, 2019, no. 69, pp. 42–51.

Информация об авторах / Information about the Authors

Алемпьев Михаил Юрьевич, аспирант кафедры космического приборостроения и систем связи, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: mihailempiev@mail.ru

Mikhail Y. Alimpiev, Post-Graduate Student of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: mihailempiev@mail.ru

Коптев Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель кафедры космического приборостроения и систем связи, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: d.s.koptev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7759-579X

Dmitry S. Koptev, Senior Lecturer of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: d.s.koptev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7759-579X

Довбня Виталий Георгиевич, профессор кафедры космического приборостроения и систем связи, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vitaly_georg@mail.ru

Vitaly G. Dovbnya, Professor of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vitaly_georg@mail.ru

Скрипкина Елена Васильевна, доцент кафедры математики и естественно-научных дисциплин, Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А. А. Леонова, Московская область, г. Королев, Российская Федерация, e-mail: lenagrants35@mail.ru

Elena V. Skripkina, Associate Professor of the Department of Mathematics and Natural Sciences, Leonov University of Technology, Korolev, Moscow Region, Russian Federation, e-mail: lenagrants35@mail.ru