

Оценка возможности применения канала радиосвязи для передачи видеоинформации между беспилотным подводным аппаратом и пультом дистанционного управления

М. Ю. Алемпьев¹, А. Е. Семенова¹, Д. С. Коптев¹ ✉, В. Г. Довбня¹

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

✉ e-mail: d.s.koptev@mail.ru

Резюме

Цель исследования. За последние годы беспилотные подводные аппараты стали более доступными и эффективными, что привело к их широкому распространению и внедрению в различных отраслях, в том числе для решения задач Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Технологичность данных устройств позволяет выполнять задачи под водой без прямого участия человека за счет использования датчиков, камер и ряда других приборов с высокими тактико-техническими характеристиками.

Целью исследования является оценка максимальной дальности передачи видеоинформации качества FullHD с беспилотного подводного аппарата для идентификации подводных объектов при мониторинге спасателями в условиях чрезвычайной ситуации.

Методы исследования основаны на основных положениях теории радиосвязи, теории диагностики и методах прогнозирования технического состояния подводных аппаратов. Проанализированы принципы передачи видеоинформации с беспилотных подводных аппаратов, используемых для мониторинга морского дна. Произведена критическая оценка максимального расстояния удаления беспилотного подводного аппарата от оператора в условиях спасательной операции.

Результаты. Оценен показатель энергетического запаса в канале связи с частотой 1 ГГц при передаче данных со скоростями, соответствующими плезиохронной цифровой иерархии, который составил 50–70 метров. Оценено затухание сигнала, в котором на расстоянии 100 метров от источника электромагнитные волны ослабевают на 200 дБ. Оценена максимальная дальность радиопередачи в подводном пространстве на частоте 1 ГГц с использованием КАМ-16 и турбокодов 3/4, которая составила 55 метров.

Заключение. В качестве перспективных направлений исследований в области использования беспилотных подводных аппаратов в водном пространстве следует рассматривать применение технологии высокоскоростной ближней радиосвязи, способствующее обеспечению скрытности подводной радиосвязи.

Ключевые слова: радиосвязь в воде; подводная среда передачи данных; беспилотный подводный аппарат; канал передачи данных; энергетический запас; резонансная радиопрозрачность; пропускная способность канала.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Оценка возможности применения канала радиосвязи для передачи видеоинформации между беспилотным подводным аппаратом и пультом дистанционного управления / М. Ю. Алемпьев, А. Е. Семенова, Д. С. Коптев, В. Г. Довбня // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 1. С. 64–78. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-1-64-78>

Поступила в редакцию 18.01.2025

Подписана в печать 16.02.2025

Опубликована 31.03.2025

Evaluation of the possibility of using a radio communication channel to transmit video information between an unmanned underwater vehicle and a remote control

Mikhail Y. Alempiev¹, Anastasia E. Semenova¹,
Dmitry S. Koptev¹ ✉, Vitaly G. Dovbnya¹

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

✉ e-mail: d.s.koptev@mail.ru

Abstract

Purpose of research. The relevance of the conducted research is due to the fact that in recent years, unmanned underwater vehicles have become more accessible and effective, which has led to their widespread use and implementation in various industries, including solving the problems of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. The technological advancement of these devices allows performing tasks underwater without direct human participation through the use of sensors, cameras and a number of other devices with high tactical and technical characteristics.

The purpose of the research is to assess the maximum transmission range of FullHD quality video information from an unmanned underwater vehicle for identifying underwater objects during monitoring by rescuers in emergency situations.

Methods. The research methods are based on the basic provisions of radio communication theory, diagnostic theory and methods for predicting the technical condition of underwater vehicles. The principles of transmitting video information from unmanned underwater vehicles used to monitor the seabed are analyzed. A critical assessment of the maximum distance of removal of an unmanned underwater vehicle from the operator in a rescue operation is made.

Results. The energy reserve indicator in a communication channel with a frequency of 1 GHz during data transmission at speeds corresponding to the plesiochronous digital hierarchy was estimated to be 50–70 meters. The signal attenuation was estimated, in which at a distance of 100 meters from the source electromagnetic waves weaken by 200 dB. The maximum range of radio transmission in underwater space at a frequency of 1 GHz using KAM-16 and turbo codes 3/4 was estimated to be 55 meters.

Conclusion. The use of high-speed short-range radio communication technology, which helps ensure the secrecy of underwater radio communication, should be considered as promising areas of research in the field of using unmanned underwater vehicles in water space.

Keywords: radio communication in water; underwater data transmission environment; unmanned underwater vehicle; data transmission channel; energy reserve; resonant radio transparency; channel capacity.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Alempiev M.Y., Semenova A.E., Koptev D.S., Dovbnaya V.G. Evaluation of the possibility of using a radio communication channel to transmit video information between an unmanned underwater vehicle and a remote control. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;15(1):64–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-1-64-78>

Received 18.01.2025

Accepted 16.02.2025

Published 31.03.2025

Введение

Беспилотные подводные аппараты (БППА) представляют собой инновационные устройства, которые кардинально меняют подход к исследованию морских и пресноводных глубин [1]. Эти высокотехнологичные устройства позволяют выполнять широкий спектр задач – от научных исследований и мониторинга окружающей среды до аварийно-спасательных операций и инспекций подводных объектов [2]. Благодаря современным системам визуализации, датчикам и манипуляторам, БППА обеспечивают высокую точность и эффективность работы в условиях, где использование традиционных методов затруднено или невозможно [3].

Основные направления использования беспилотных подводных дронов:

1. Научные исследования.
2. Обслуживание морского транспорта и оборудования.
3. Подводная фото- и видеосъемка.
4. Поисково-спасательные работы.
5. Мониторинг подводных объектов различного назначения [4].

Для идентификации объектов в подводном пространстве требуется наличие

съемки фото- и видеоизображения в качестве FullHD от подводного дрона. То, что человеку трудно разглядеть на глубине из-за мутной или загрязненной воды, доступно для беспилотного подводного аппарата. Это достигается благодаря высокопроизводительной видеокамере, оснащенной мощной светодиодной оптикой для улучшения видимости. В качестве примера реализации возможностей рассмотрим беспилотный подводный аппарат Chasing M2 S Advanced Set – дрон с интеллектуальным управлением, который гарантирует высокое качество подводных съёмок и свободу мониторинга в подводном пространстве [5].

Дрон M2 S Advanced Set снабжен камерой с режимом съемки 4K с электронной стабилизацией изображения, которая в совокупности с двумя светодиодными фонарями мощностью 2000 лм и технологией восстановления цвета позволяет получать изображения подводного мира в высокой четкости не только для записи, но и для онлайн-трансляции. Технология восстановления цвета, учитывающая особенности подводного освещения, физические свойства света и

окружение, а также система визуального распознавания и отслеживания обеспечивают изображению высокую чёткость, контрастность и детализацию.

Основные параметры Chasing M2 S Advanced Set:

1. Максимальная грузоподъемность – 1,5 кг.
2. Время автономной работы – до 4 ч на АКБ при работе от бортовой сети судна не ограничено.
3. Максимальная глубина погружения – 100 м.
4. Рабочий радиус передвижения – от 200 до 400 м при передаче 4К изображения при глубине погружения 100 м.
5. Датчик глубины.
6. Датчик температуры [5].

Для создания канала связи между пультом дистанционного управления и дроном Chasing M2 S Advanced Set используется двухсотметровый шнур с соединителями, который входит в состав оборудования дрона. Проводной канал связи содержит как передачу команд управления, так и видеотрансляцию.

Предлагается рассмотреть возможность использования канала распространения радиоволн (РРВ) вместо соединяющего шнура длиной 200 м.

Целью статьи является оценка предельного расстояния передачи видеоизображения качества FullHD, необходимого для идентификации подводных объектов, с беспилотного подводного аппарата из подводной среды на пульт управления оператора, находящегося над поверхностью воды.

Материалы и методы

Для двунаправленной связи (видео 4K 60 FPS и команды управления) между подводным дроном и пультом управления оператора требуется канал связи с пропускной способностью 50 Мбит/с. Для аналогичной связи с видео FullHD 60 FPS достаточно 12 Мбит/с для оптимальной работы, а минимальная пропускная способность для передачи видеопотока FullHD составляет 5 Мбит/с [6].

Современные системы подводной связи полагаются на крайне низкие (КНЧ, 3-30 Гц) и сверхнизкие (СНЧ, 30-300 Гц) диапазоны частот, хорошо распространяющиеся в морской воде. Инфранизкие (ИНЧ, 300 Гц-3 кГц) и очень низких (ОНЧ, 3-30 кГц) диапазоны также используются, но имеют ограниченную глубину проникновения из-за скин-эффекта [7].

Основные недостатки этих подходов – громоздкие антенны, низкий КПД, низкая информационная скорость и плохая помехоустойчивость.

Открытие резонансно-волнового состояния и резонансной радиопрозрачности воды открывает перспективу использования диапазонов сверхвысокочастотных (СВЧ) и крайне высокочастотных (КВЧ) [8].

Так, на сегодняшний день, уже проведены экспериментальные исследования методов амплитудной трансрезонансной радиоспектроскопии. Реализовано пассивное измерение собственного СВЧ-излучения на 1 ГГц и активное

зондирование на частоте 65 ГГц с регистрацией вторичного резонансного СВЧ-излучения (радиоотклика) на резонансной частоте 1 ГГц, с ослаблением сигнала 20-30 дБ [9].

Частота 65 ГГц имеет потенциал для передачи больших объемов данных, использование этой частоты для приемо-передающих беспилотных устройств (дронов) также несет ряд значительных ограничений и недостатков. Основные причины, почему невыгодно использовать частоту 65 ГГц:

1. Атмосферное затухание сигнала:

– поглощение. Как и в случае с мобильными устройствами, сигналы на частоте 65 ГГц подвержены сильному поглощению атмосферными газами (особенно кислородом) и водяным паром. Это приводит к быстрому ослаблению сигнала, что значительно сокращает дальность связи [10];

– погодные условия. Дождь, туман и снег еще больше ухудшают распространение сигнала на этих высоких частотах, что делает связь ненадежной в плохих погодных условиях.

2. Ограниченная дальность связи. Из-за высокого затухания сигнала дальность связи на 65 ГГц сильно ограничена. Это ограничивает применение БППА для задач, требующих связи на большие расстояния (например, мониторинг больших территорий, доставка, поиск и спасение) [11].

3. Требования к мощности и энергопотреблению:

– высокая мощность передатчика.

Для преодоления затухания сигнала и обеспечения надежной связи требуется более мощный передатчик, что приводит к увеличению энергопотребления БППА;

– увеличение массы. Более мощный передатчик и батарея могут увеличить массу БППА, что также отрицательно влияет на его характеристики [12].

4. Технологические сложности и стоимость:

– дорогие компоненты. Оборудование для работы на 65 ГГц (антенны, передатчики, приемники) сложнее и дороже в производстве, чем для более низких частот. Это увеличивает стоимость БППА и их обслуживания;

– сложность интеграции. Интеграция высокочастотного оборудования в компактный корпус БППА представляет собой инженерную задачу, требующую высокой точности и миниатюризации;

– требования к калибровке. Высокочастотные системы требуют точной калибровки и настройки для обеспечения стабильной связи, что усложняет эксплуатацию [12].

5. Требования к точной ориентации антенны. Для обеспечения оптимального сигнала на 65 ГГц требуется точная ориентация антенн БППА и пульта управления оператора, что может быть сложной задачей при активном маневрировании.

6. Ограничения нормативно-правового характера. Регулирование частотного диапазона: использование

диапазона 65 ГГц может быть ограничено нормативными актами в разных странах, что может создавать проблемы с применением БПЛА в различных регионах [13].

Следует отметить, что частота 65 ГГц потенциально и может обеспечить высокую пропускную способность, однако она не является оптимальным выбором для приемопередающих беспилотных устройств из-за значительного затухания сигнала, ограниченной дальности, высоких требований к мощности, стоимости, технологических сложностей и проблем с мобильностью [14].

Для беспилотных устройств в настоящее время более предпочтительными являются более низкие частоты, обеспечивающие лучшую дальность связи, проникающую способность и более стабильную работу при различных внешних условиях.

Частоты, используемые в сетях Wi-Fi, а также специализированные диапазоны для БПЛА (например, 2,4 ГГц, 5,8 ГГц и др.) предоставляют более практичное и эффективное решение для большинства задач. Для специальных задач с высокими требованиями к скорости передачи данных и малой дальностью могут использоваться и миллиметровые волны (например, 28–39 ГГц). Однако применение данных частот для БПЛА также невозможно. Wi-Fi-частоты абсолютно непригодны для связи с беспилотными подводными аппаратами из-за сильного поглощения в воде, ограниченной дальности, сложностей с

технической реализацией антенных систем и несовместимости с подводными условиями [15].

Для связи и управления подводными аппаратами применяются акустические волны, низкочастотные радиоволны или проводные каналы связи в зависимости от требований к дальности, пропускной способности и автономности.

Канал связи с частотой 1 ГГц для подводных аппаратов представляет собой компромиссное решение. Он может быть полезен в некоторых специфических сценариях, где требуется баланс между дальностью связи, пропускной способностью и размерами оборудования. Однако ограничения, связанные с поглощением сигнала в воде, требуют тщательного анализа и выбора оптимального решения в зависимости от конкретных требований к условиям применения. Часто 1 ГГц используют как часть гибридной системы связи, дополняя другие методы, такие как акустическая или проводная связь [16].

Рассмотрим возможность применения канала связи 1 ГГц для беспилотного подводного устройства, рассчитав потенциальную дальность подводной радиосвязи.

Мощность сигнала P_R на входе приемника линии связи может быть записана в виде

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L}, \quad (1)$$

где P_T – мощность, подводимая к антенне передатчика, Вт; G_T , G_R –

коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно; L – энергетические потери сигнала в непрерывном канале связи ($L > 1$) [17].

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

$$P_N = N_0 B, \quad (2)$$

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, К; $B = 1/T$ – ширина полосы пропускания приемника при согласованной фильтрации, Гц; T – длительность символа, с [18].

Шумовая температура приемника определяется, прежде всего, шумовой температурой антенны T_A и шумовой температурой входного малошумящего усилителя $T_{мш\text{у}}$:

$$T_R \approx T_A + T_{мш\text{у}} = T_0 \left[\frac{T_A}{T_0} + (F - 1) \right], \quad (3)$$

где $T_0 = 290$ К – эталонная температура; F – коэффициент шума малошумящего усилителя.

В пределе шумовая температура приемника равна шумовой температуре антенны, которая в случае подводной связи в L -диапазоне составляет порядка 93 К [19].

Длительность передаваемого символа определяется выражением

$$T = r_{FEC} \log_2 M / R, \quad (4)$$

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

Тогда с учетом выражений (1) – (4) отношение сигнал / шум, приведенное к входу приемника линии связи, можно записать в следующем виде:

$$h^2 = \frac{P_R}{P_N} = \frac{E_S}{N_0} = P_T G_T G_R \frac{r_{FEC} \log_2 M}{k T_R R L}, \quad (5)$$

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 удобнее производить в децибелах по следующей формуле:

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

Очевидно, что для обеспечения приема с вероятностью ошибки не выше заданной P_{b0} (10^{-6} для передачи данных) необходимо, чтобы энергетический запас в линии связи

$$\Delta = h^2 - h_0^2 > 0, \quad (7)$$

где h_0^2 – отношение сигнал / шум, обеспечивающее в потенциале заданную вероятность битовой ошибки (пороговое отношение сигнал / шум), дБ.

Для сигнала КАМ-16 (QAM-16) пороговое отношение сигнал/шум составляет 20,6 дБ. В случае применения помехоустойчивого кодирования эта величина может быть существенно снижена. Так, например, при использовании

мощных корректирующих кодов – турбокодов – пороговое отношение сигнал/шум может быть снижено до 10,3 дБ (Turbo 3/4, $r_{FEC} = 0,75$).

Энергетические потери в непрерывном канале связи складываются из двух составляющих:

$$L = L_0 + L_{cp}, \quad (8)$$

где L_0 – энергетические потери в свободном пространстве, дБ; L_{cp} – энергетические потери в среде распространения, дБ.

Энергетические потери в свободном пространстве

$$L_0 = 20 \lg \frac{4\pi r}{\lambda_{cp}} = 22 + 20 \lg r - 20 \lg \lambda_{cp}, \quad (9)$$

где r – протяженность линии связи, м;

$\lambda_{cp} = \frac{0,3}{f\sqrt{\epsilon}}$ – длина волны в среде распространения, м; ϵ – относительная

диэлектрическая проницаемость среды. Для воды на частоте трансрезонанса 1 ГГц, как показали результаты экспериментальных исследований [20], относительная диэлектрическая проницаемость равна 36.

Энергетические потери в среде распространения

$$L_{cp} = \gamma_w r, \quad (10)$$

где γ_w – погонные затухания в среде, дБ/м. Погонные потери в морской воде на частоте трансрезонанса 1 ГГц составляют 1,1 дБ/м [20].

Результаты и их обсуждение

Результаты расчета зависимости энергетических потерь в свободном пространстве, в среде распространения и в непрерывном канале связи на частоте трансрезонанса 1 ГГц от расстояния с использованием выражений (8) – (10) приведены ниже (рис. 1).

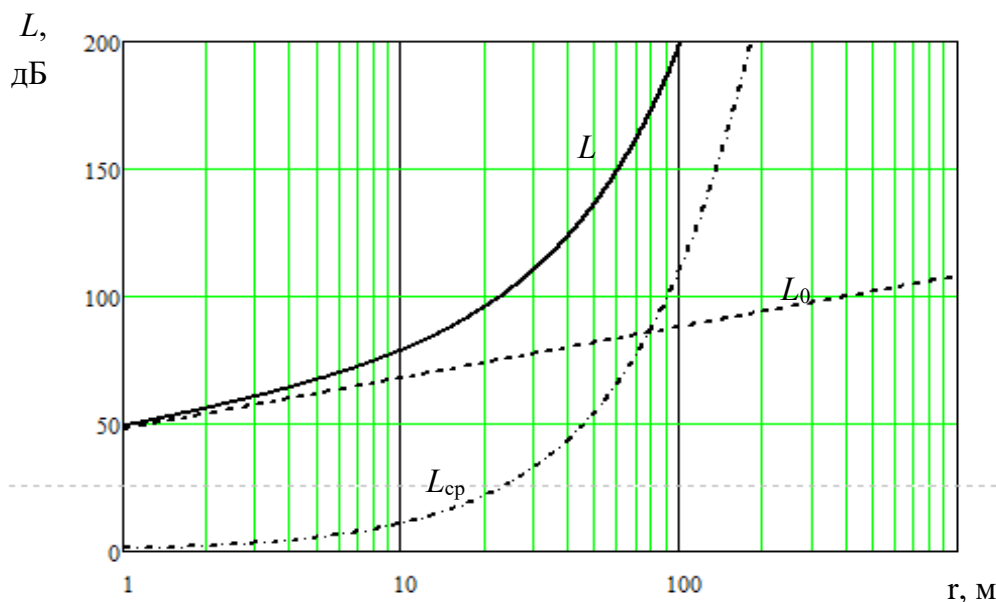


Рис. 1. Зависимость от расстояния энергетических потерь в свободном пространстве, среде распространения и общих потерь в непрерывном канале связи, для частоты 1 ГГц, соответствующей трансрезонансу

Fig. 1. Dependence on the distance of energy losses in free space, propagation medium and total losses in a continuous communication channel for a frequency of 1 GHz corresponding to transresonance

Результаты моделирования, представленные на графиках (рис. 1), демонстрируют, что на расстоянии 100 м от источника электромагнитные волны ослабевают на 200 дБ. В области до 60 м затухание в основном вызвано потерями в свободном пространстве, в то время как на более дальних расстояниях (свыше 100 м) преобладают потери, связанные со свойствами среды распространения.

Рассмотрим в качестве передающей и приемной антенн штыревую всенаправленную (в горизонтальной плоскости) антенну с коэффициентом усиления 8 дБ. Ширина диаграммы направленности такой антенны в вертикальной плоскости составляет порядка 20 град [21].

Подводимую к антенне мощность на основании принципа взаимности положим равной

$$P_T = 10 \cdot \Pi \cdot S_e, \quad (11)$$

где $\Pi = 10 \text{ мВт/см}^2$ – максимальная плотность потока мощности, при которой

проявляется явление трансрезонанса; S_e – эффективная площадь антенны, м^2 .

Эффективная площадь антенны связана с коэффициентом усиления антенны следующим выражением:

$$S_e = \frac{\lambda_{\text{ср}}^2}{4\pi} G. \quad (12)$$

Для рассматриваемого случая эффективная площадь антенны и подводимая к антенне мощность соответственно равны $S_e = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ и $P_T = 0,126 \text{ Вт}$.

Результаты расчета зависимости энергетического запаса в непрерывном канале связи при передаче данных со скоростями, соответствующими плезиохронной цифровой иерархии (Е0 – 64 кБит/с, Е1 – 2,048 Мбит/с, Е2 – 8,448 Мбит/с и Е3 – 34,368 Мбит/с), методом КАМ-16 на частоте трансрезонанса 1 ГГц от расстояния между передающим и приемным устройствами с использованием выражений (6) – (10) приведены ниже (рис. 2).

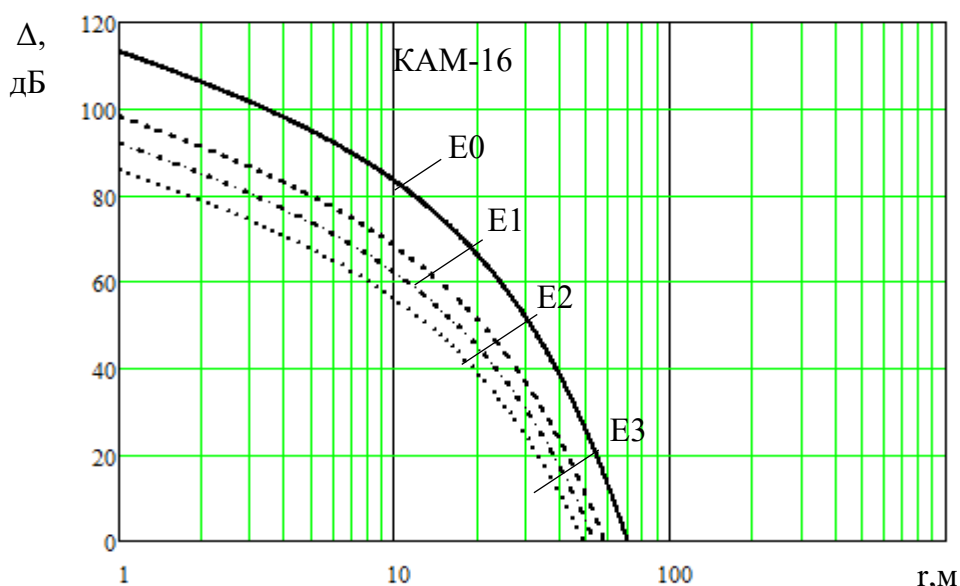


Рис. 2. Зависимости энергетического запаса в канале связи от расстояния между передатчиком и приемником при передаче данных на частоте 1 ГГц, соответствующей трансрезонансу

Fig. 2. Dependences of the energy reserve in the communication channel on the distance between the transmitter and receiver when transmitting data at a frequency of 1 GHz, corresponding to transresonance

Анализ графической информации (рис. 2) свидетельствует о том, что потенциальная дальность подводной радиосвязи с применением резонансно-волнового состояния и резонансной радиопрозрачности составляет 50–70 м.

Для передачи видеопотока качества FullHD потребуется канал связи с минимальной скоростью 5 Мбит/с, что соответствует потоку Е2 и Е3 с дальностью радиопередачи – 55 м и 50 м соответственно.

Выводы

Таким образом, обобщая вышеизложенное, в данной статье:

- оценен показатель энергетического запаса в канале связи с частотой 1 ГГц при передаче данных со скоростями, соответствующими плезиохронной цифровой иерархии, который составил 50–70 м;

- оценено затухание сигнала, в котором на расстоянии 100 м от источника электромагнитные волны ослабевают на

200 дБ, до 60 м затухание в основном вызвано потерями в свободном пространстве, в то время как на более дальних расстояниях (свыше 100 м) преобладают потери, связанные со свойствами среды распространения;

- оценена эффективная площадь антенны и подводимая к ней мощность – $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ и 0,126 Вт соответственно;

- оценена максимальная дальность радиопередачи в подводном пространстве на частоте 1 ГГц с использованием КАМ-16 и турбокодов 3/4, которая составила 55 м.

Полученные результаты исследований указывают на перспективу применения технологии высокоскоростной ближней радиосвязи между подводными объектами. Важно отметить, что использование резонансно-волнового состояния и резонансной радиопрозрачности, ограничивающее дальность передачи, способствует обеспечению скрытности подводной низкоинтенсивной резонансной СВЧ-радиосвязи.

Список литературы

1. Джаныбеков Р. Ю., Аббасов И. Б. Проблемы в проектировании морских робототехнических комплексов // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 11(137). С. 1–10. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21>
2. Жантуреев Ж. Ж. К проблеме применения беспилотных подводных аппаратов в практике раскрытия, расследования и предупреждения преступлений // Расследование преступлений: проблемы и пути их решения. 2023. № 1(39). С. 152–158. <https://doi.org/10.54217/2411-1627.2023.39.1.019>
3. Дмитриев В. И., Каретников В. В. Методы обеспечения безопасности мореплавания при внедрении беспилотных технологий // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9, № 6. С. 1151–1152.

4. Спиридонов А. А., Фадеев А. М. Стратегические приоритеты применения беспилотных технологий при реализации энергетических проектов в Арктике // Стратегирование: теория и практика. 2023. Т. 3, № 3(9). С. 322–335. <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335>
5. CHASING M2 S Underwater Drone_Industrial-Grade Underwater ROV. URL: <https://www.chasing.com/en/chasing-m2s-overview.html> (дата обращения: 29.12.2024).
6. Оценка дальности передачи видеоинформации 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.
7. Катавараян Б., Сантанам Ш. Особенности подводной системы оптической беспроводной связи в условиях различных типов морской воды // Светотехника. 2021. № 5. С. 68–76.
8. Мкртчян Ф. А. СВЧ-радиометрия в мониторинге геофизических характеристик земной поверхности // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2024. № 4. С. 173–186. <https://doi.org/10.36535/0235-5019-2024-04-3>
9. Сети связи для подводных автономных роботизированных комплексов: монография / В. П. Федосов, С. П. Тарасов, П. П. Пивнев, В. В. Воронин, С. В. Кучерявенко, А. А. Легин, А. В. Ломакина, В.А. Франц. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2018. 178 с.
10. Гранков А. Г., Мильшин А. А. О факторах, влияющих на прохождение радиоволн по трассе «спутник-Земля» в СВЧ- и УВЧ-диапазонах в телекоммуникационных системах // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2022. № 5. С. 47–58. <https://doi.org/10.36535/0235-5019-2022-05-5>
11. Колосов П. Удалённый мониторинг водных ресурсов с помощью ИИ и БПЛА // Control Engineering Россия. 2022. № 1 (97). С. 58–59.
12. Шкинёв В. М., Сапрыкин О. А., Носов В. Н. Об увеличении ресурсов автономных подводных аппаратов путем применения источников морской среды и изменения конструкции // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2024. № 5(770). С. 66–77.
13. Джуринский К. Современная отечественная база коаксиальных радиокомпонентов для модулей и блоков СВЧ // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2023. № 7(228). С. 122–131. <https://doi.org/10.22184/1992-4178.2023.228.7.122.131>
14. Довбня В. Г., Азиатцев В. Е., Михайлов С. Н. Помехоустойчивость радиоприемных систем цифровых линий связи: монография / Юго-Западный гос. ун-т. Курск, 2017. 175 с.

15. Результаты апробации прототипа платформы морского Интернета вещей для обеспечения взаимодействия и цифровой навигации морских роботизированных агентов / А. А. Кабанов, Ю. Д. Черемухин, В. А. Крамарь [и др.] // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 1(51). С. 53–63. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2023-1-53-63>
16. Андрюшечкин Ю. Н., Прохоренков А. А., Лукин А. И. Создание действующей модели специального плавучего средства навигационного ограждения для информационного обеспечения безопасности судоходства // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2021. Т. 13, № 1. С. 45–51. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2021-13-1-45-51>
17. Каштанов В. В., Немтинов В. А. Анализ организации связи с применением беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2022. Т. 28, № 4. С. 606–614. <https://doi.org/10.17277/vestnik.2022.04.pp.606-614>
18. Оценка дальности полёта и передачи видеоинформации при мониторинге чрезвычайных ситуаций с беспилотного летательного аппарата в сложных метеорологических условиях / М. Ю. Алемпьев, А. Е. Семенова, Д. С. Коптев, В. Г. Довбня // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 2. С. 21–39. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-21-39>
19. P.372: Radio noise. URL: [itu.int/rec/R-REC-P.372/en](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.372/en) (дата обращения: 12.12.2024).
20. Сиражуудинов С. М. Организация качественной и безопасной передачи данных в системах связи и радиодоступа морских робототехнических комплексов // Вопросы безопасности. 2023. № 1. С. 32–40. <https://doi.org/10.25136/2409-7543.2023.1.39686>
21. Довбня В. Г., Коптев Д. С. Основные направления повышения помехозащищенности радиоприёмных систем на основе пространственно-временной обработки сложных сигналов в антенном устройстве // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10, № 1. С. 36–50.

References

1. Dzhanybekov R.Y., Abbasov I. B. Problems in the design of marine robotic complexes. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Scientific Research Journal*. 2023;(11):1–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.21>
2. Zhantureev Zh.Zh. On the problem of the use of unmanned underwater vehicles in the practice of disclosure, investigation and prevention of crimes. *Rassledovanie prestuplenii: problemy i puti ikh resheniya = Crime Prevention: Problems and Ways to Solve Them*. 2023;(1):152–158. (In Russ.) <https://doi.org/10.54217/2411-1627.2023.39.1.019>

3. Dmitriev V.I., Karetnikov V.V. Methods of ensuring the safety of navigation in the implementation of unmanned technologies. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova = Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet*. 2017;9(6):1151–1152. (In Russ.)
4. Spiridonov A.A., Fadeev A.M. Strategic priorities of the use of unmanned technologies in the implementation of energy projects in the Arctic. *Strategirovanie: teoriya i praktika = Strategizing: Theory and Practice*. 2023;(3):322–335. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-322-335>
5. CHASING M2 S Underwater Drone_Industrial-Grade Underwater ROV. Available at: <https://www.chasing.com/en/chasing-m2s-overview.html> (accessed 12.09.2024).
6. Alempyev M.Y., Koptev D.S., Dovbnya V.G., Skripkina E.V. Evaluation of the transmission range of video information of various quality during emergency monitoring 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.)
7. Katavarayan B., Santanam S. Features of an underwater optical wireless communication system in conditions of various types of seawater. *Svetotekhnika = Lighting Engineering*. 2021;(5):68–76. (In Russ.)
8. Mkrtchyan F.A. Microwave radiometry in monitoring the geophysical characteristics of the Earth's surface. *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnikh resursov = Problems of the Environment and Natural Resources*. 2024;(4):173–186. (In Russ.) <https://doi.org/10.36535/0235-5019-2024-04-3>
9. Fedosov V.P., Tarasov S.P., Pivnev P.P., Voronin V.V., Kucheravenko S.V., Legin A.A., Lomakina A.V., Frants V.A. Communication networks for underwater autonomous robotic complexes. Rostov-on-Don: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta; 2018. 178 p. (In Russ.)
10. Grankov A.G., Milshin A.A. On the factors influencing the passage of radio waves along the satellite-Earth highway in the microwave and UHF bands in telecommunication systems. *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnikh resursov = Problems of the Environment and Natural Resources*. 2022;(5):47–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.36535/0235-5019-2022-05-5>
11. Kolosov P. Remote monitoring of water resources using AI and UAVs. *Control Engineering Russia*. 2022;(1):58–59. (In Russ.)
12. Shkinev V.M., Saprykin O.A., Nosov V.N. On increasing the resources of autonomous underwater vehicles through the use of marine sources and design changes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = BMSTU Journal of Mechanical Engineering*. 2024;(5):66–77. (In Russ.)

13. Dzhurinsky K. Modern domestic base of coaxial radio components for microwave modules and units. *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes = Electronics: Science, Technology, Business*. 2023;(7):122–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.22184/1992-4178.2023.228.7.122.131>
14. Dovbnya V.G., Asiantsev V.E., Mikhailov S.N. Noise immunity of radio receiving systems of digital communication lines. Kursk: Yugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet; 2017. 175 p. (In Russ.)
15. Kabanov A.A., Cheremukhin Y.D., Kramar V.A., et al. Results of testing the prototype of the marine Internet of Things platform for ensuring interaction and digital navigation of marine robotic agents. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy = Environmental Monitoring Systems*. 2023;(1):53–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2023-1-53-63>
16. Andryushechkin Y.N., Prokhorenkov A.A., Lukin A.I. Creation of an operational model of a special floating navigation barrier for information security of navigation. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova = Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of the Marine and River Fleet*. 2021;13(1):45–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2021-13-1-45-51>
17. Kashtanov V.V., Nemtinov V.A. Analysis of communication organization using short-range unmanned aerial vehicles. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tambov State Technical University*. 2022;28(4):606–614. (In Russ.) <https://doi.org/10.17277/vestnik.2022.04.pp.606-614>
18. Alempyev M.Y., Semenova A.E., Koptev D.S., Dovbnya V.G. Evaluation of flight range and transmission of video information during emergency monitoring from an unmanned aerial vehicle in difficult meteorological conditions. *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*. 2024;14(2):21–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-21-39>
19. P.372: Radio noise. Available at: [itu.int>rec/R-REC-P.372/en](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.372/en) (accessed 12.12.2024).
20. Sirazhudinov S.M. Organization of high-quality and safe data transmission in communication systems and radio access of marine robotic complexes. *Voprosy bezopasnosti = Security Issues*. 2023;(1):32–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.25136/2409-7543.2023.1.39686>
21. Dovbnya V.G., Koptev D.S. The main directions of increasing the noise immunity of radio receiving systems based on spatiotemporal processing of complex signals in an antenna device. *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*. 2020;10(1):36–50. (In Russ.)

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: mihail.alempiev@mail.ru, ORCID: 0009-0009-6412-7899

Mikhail Y. Alimpiev, Post-Graduate Student of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: mihail.alempiev@mail.ru, ORCID: 0009-0009-6412-7899

Семёнова Анастасия Евгеньевна, студент кафедры космического приборостроения и систем связи, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: nastiasemenova2512@gmail.com, ORCID: 0009-0004-6462-8574

Anastasia E. Semenova, Student of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: nastiasemenova2512@gmail.com, ORCID: 0009-0004-6462-8574

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, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры космического приборостроения и систем связи, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vit_georg@mail.ru

Vitaly G. Dovbnya, Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vit_georg@mail