Физические поля корабля и океана

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-12>

УДК 656.61.052;621.396.4 004.716

И.С. Скварник, О.И. Совкова, Л.Г. Стаценко, Г.П.Турмов

СКВАРНИК ИГОРЬ СВЯТОСЛАВОВИЧ – аспирант, e-mail: iskv@lemz-dv.ru

СОВКОВА ОЛЬГА ИГОРЕВНА – магистрант, e-mail: sovкова.olga@inbox.ru

СТАЦЕНКО ЛЮБОВЬ ГРИГОРЬЕВНА – заведующая кафедрой, д.ф.-м.н.,

профессор, AuthorID: 442752, SPIN: 1082-8734,

ORCID: orcid.org/0000-0001-7498-9534, ResercherID: F-8862-2014,

ScopusID: 6507661729, e-mail: lu-sta@mail.ru

Кафедра электроники и средств связи Инженерной школы

ТУРМОВ ГЕННАДИЙ ПЕТРОВИЧ – д.т.н., профессор, e-mail: turmov@yandex.ru

Дальневосточный федеральный университет

Суханова ул., 8, Владивосток, Россия, 690091

Технологии беспроводного широкополосного доступа: оценка возможности применения для управления движением судов

Аннотация: Последние достижения в технологиях беспроводной связи позволяют мобильным пользователям получать доступ к различным услугам передачи данных в любое время и в любом месте на суше. Но обеспечение надежной передачи данных для морских и прибрежных территорий – одна из трудных задач из-за особенностей распространения радиоволн над морской поверхностью: замирания и межсимвольная интерференция негативно сказываются на качестве передаваемой информации. Сети связи и передачи данных системы управления движением судов (ССПД СУДС) – важная составляющая обеспечения безопасности мореплавания, поэтому необходимо развивать морскую связь, поддерживающую высокоскоростную передачу данных и расширенное покрытие. В настоящей статье рассматривается применение в СППД СУДС технологии беспроводного широкополосного доступа (БШД) с использованием отечественной операционной системы WANFleX как альтернативы спутниковым и радиорелейным каналам связи. Применение радиоинтерфейса беспроводной связи может обеспечить ее высокую надежность в пределах прямой видимости на расстоянии более 80 км, а приемопередающая аппаратура может располагаться на уже существующих мачтах: это снижает затраты на капитальное строительство. Подчеркнем, что в России в СППД СУДС технологию БШД ранее не использовали. Данная работа – один из первых шагов в этом направлении: мы рассматриваем применение технологии БШД на основе операционной системы WANFleX, разработанной отечественной компанией InfiNet Wireless.

Ключевые слова: беспроводный широкополосный доступ, СППД СУДС, межсимвольная интерференция, WANFleX, радиорелейная связь.

Введение

Морская и портовая инфраструктура Дальнего Востока и Приморского края в ближайшие годы будет быстро развиваться в связи с масштабным проектом свободного порта

Владивосток, принятом в 2015 г. Темпы этого развития напрямую зависят от сетей связи, поэтому первостепенная задача – реализация высокоскоростной и экономически эффективной морской беспроводной связи для сообщения между объектами систем управления движением судов. Предполагается достичь уровня связи, соответствующего бизнес-задачам проекта. Кроме того, сети связи и передачи данных (ССПД) – базовые компоненты обеспечения безопасности мореплавания системы управления движением судов (СУДС), они обеспечивают централизованный сбор и обработку информации о навигационной обстановке в центрах управления (ЦУ) СУДС. При разработке новых инфраструктур для морских коммуникаций появится возможность внедрить технологии Internet of Things и Big Data для исследования Мирового океана.

В настоящее время в России не существует действующих решений, обеспечивающих надежный и высокоскоростной широкополосный доступ в интернет на море, в отличие от дорогостоящей узкополосной спутниковой связи или радиорелейных линий зоны прямой видимости, которые также имеют недостатки. Отсутствие такой системы стимулировало ряд исследовательских и внедряющих проектов по недорогим широкополосным коммуникационным решениям и созданным на их основе технологиям. Проанализируем ряд таких технологий.

Технология WiMAX. За рубежом уже внедряют проекты морской широкополосной связи, которые предлагают беспроводную гетерогенную многопролетную ретрансляционную сеть на основе LTE и WLAN MarComm [11]. Результаты эксперимента в [11] показывают, что система MarComm может обеспечить скорость передачи данных более 1 Мбит/с и расстояние передачи 100 км от побережья с поддержкой функции многопролетной ретрансляции. Проект [7] рассматривает применение технологии WiMAX для организации мобильной связи в Гибралтарском проливе: здесь предложена классификация услуг и требований к системе связи, обосновано применение WiMAX, произведена оценка стоимости обмена данными, а также информационная безопасность. Работа [7] подтверждает возможность использования технологии WiMAX для обмена информацией с судами, центрами управления и береговыми службами. Исследователи из Сингапура реализовали проект WISEPORT [15] для морского порта: на основе технологии WiMAX с помощью беспроводного широкополосного доступа обеспечивается скорость передачи данных до 5 Мбит/с (с диапазоном покрытия 15 км).

Технологии Wi-Fi. Использованию технологии Wi-Fi посвящен целый ряд работ. Например, в [8] дан анализ ее использования на частоте 2,4 ГГц с протоколом UDP для автономной узловой сети морской связи на озере Кейлор. Результаты измерений подтвердили работоспособность данной технологии, поддерживающей линию связи с пропускной способностью 2 Мбит/с для протокола UDP. В [14] предлагается в системе морской беспроводной связи для мониторинга судов использовать технологию Wi-Fi дальнего действия. В этой работе обсуждается применение систем Wi-Fi дальнего действия с рабочей частотой 2,4 ГГц в прибрежных районах Индонезии и Макассара. Технология Wi-Fi здесь рассматривается для недорогого подключения к услуге передачи данных с берега в море и к островам. Был сделан вывод, что технология обеспечивает соединение до 8 км в условиях полузакрытого интервала.

Технологии для безопасности мореплавания на основе БШД. Результат отечественных работ, связанных с внедрением передовых информационных технологий для обеспечения безопасности мореплавания на основе БШД, – реализация проекта модернизации сети радиосвязи «Росморпорт» в акватории Финского залива, включающей порты Санкт-Петербурга и Ленинградской области – Кронштадт, Усть-Луга, Высоцк, Приморск [5]. Всего охвачено более 10 тыс. км² территории. На различных объектах морского порта было установлено 33 сектора базовых станций и 200 стационарных абонентских станций, которые обеспечили подключение к сети БШД локальных проводных сетей на расстояния до 20 км с пропускной способностью до 50 Мбит/с. Мобильные абоненты установлены на мачтах ледоколов на высоте от 3 до 20 м над уровнем моря, пропускная способность таких устройств – не менее 4 Мбит/с при скорости движения судов до 12 узлов. Судовое оборудование обеспе-

чивает устойчивую связь на расстоянии до 30 км от берега. Стоит заметить, что данная работа нацелена на организацию сети связи, которая имеет более низкие требования к производительности ССПД и не может обеспечить в полном объеме требования, предъявляемые к ССПД СУДС [4]. Проект осуществлялся системными интеграторами «Гейзер-Телеком» и «Интегра-Телеком Северо-Запад» по заказу крупнейшей организации «Росморпорт». Российская компания InfiNet Wireless, занимающаяся разработкой оборудования БШД и строительством телекоммуникационной инфраструктуры в области беспроводных решений в транспортно-портной отрасли, тесно сотрудничает с зарубежными компаниями. В частности, InfiNet Wireless спроектировали сеть совместно с E2E в контейнерном терминале Doraleh (DCT) [13], расположенном в Джибути, – самом технологичном, втором по величине (по пропускной способности) на Африканском континенте. Благодаря многолетнему опыту развертывания беспроводных решений и опыту нескольких крупных проектов в регионе Ближнего Востока и Африки, было принято решение использовать на базе скомбинированных продуктов от InfiNet оборудование InfiLINK XG (ведущее в отрасли беспроводного решения для топологии «точка–точка») и InfiMAN 2×2, решение для «точка–многоточка», которое обеспечило покрытие во всех углах порта при развертывании нескольких базовых станций со скоростью 300 Мбит/с. Затем эти базовые станции были беспроводным образом подключены к нескольким абонентским терминалам для транзитной связи и поддержки передачи видео для обеспечения безопасности. В дополнение к локальной сети компания DCT развернула несколько устройств InfiLINK XG, обеспечивающих скорость до 500 Мбит/с и соединяющих центральный порт с двумя удаленными офисами DCT.

Кроме того, для управления всей сетью DCT выбрала систему мониторинга сети InfiNet InfiMONITOR. Другой проект [9] был связан с модернизацией сети связи между паромными старейшей паромной компании Великобритании Red Funnel и береговым портом. Работая в партнерстве с InfiNet, компания Trellisworks начала эксплуатационные полевые испытания в ноябре 2014 г., а уже в течение 2015 г. было установлено 8 базовых радиостанций, причем на каждом судне было установлено 6 соответствующих абонентских устройств, что гарантировало непрерывное соединение с сетью независимо от направления или положения судна. Эти клиентские радиостанции обеспечивали пропускную способность 100 Мбит/с при минимальном полнодуплексном режиме 20 Мбит/с, потеря пакетов составила менее 1% в течение рейса с очень низкой задержкой. Стоит отметить, что решение InfiNet основано на использовании нескольких каналов связи между подвижными судами и береговыми базовыми станциями, поэтому, когда судно отплывает от одной базовой станции, оно автоматически устанавливает соединение с другой. В результате беспроводное соединение не прерывается, а радиосвязь работает безотказно. Тем не менее все эти подходы оставляют открытыми вопросы создания эффективной сети морской связи.

Итак, система широкополосной связи, которая могла бы охватывать территорию в пределах исключительной экономической зоны Приморского края с высокой скоростью передачи данных при низких затратах, была бы очень привлекательной в качестве системы морской связи. Поэтому цель нашей работы – дать оценку возможности применения технологии беспроводного широкополосного доступа в ССПД СУДС. Для этого мы проведем расчеты приемо-передающего оборудования и на их основе – моделирование канала БШД.

Область действия услуги беспроводной широкополосной сети

Действующая на сухопутной части Приморского края беспроводная широкополосная связь имеет ограниченную рабочую область из-за отсутствия многопролетной передачи, ее нельзя распространить в море на судоходные маршруты. В качестве примера на рис. 1 показана карта покрытия сети 4G с ограниченным обслуживанием [3] на территории Владивостока и вдоль Амурского залива. На карте отмечены центр СУДС Владивосток, радиотехнические посты (РТП) Буссе и Брюса. В центр СУДС Владивосток поступают данные с РТП, ко-

торые расположены в различных частях побережья залива Петра Великого на территории Владивостока и в Хасанском районе Приморского края.

Рис. 1. Карта покрытия, URL: <https://4g-faq.ru/karty-pokrytiya/> (дата обращения: 21.11.2019).

Рисунок показывает, что операторы сети обслуживают рабочий район, который не охватывает все море. Помимо этого ограничения существуют другие факторы, которые могут уменьшить покрытие: расстояние от базовой станции, типы пользовательских устройств и наличие препятствий (например, зданий и географических объектов). Из-за ограниченного покрытия и отсутствия многопролетной передачи зона охвата беспроводной широкополосной связи не может включать морские территории. Кроме того, внедрение в ближайшем будущем сетей нового поколения 5G также не улучшит ситуацию в данной сфере, так как здесь будут использовать миллиметровый диапазон волн, радиус действия которых мал. Помимо этого сигнал плохо проникает через препятствия, его могут блокировать здания, деревья и т.д.

Анализ расчета профиля радиорелейного пролета

В качестве примера рассмотрим сети связи и передачи данных систем управления движением судов между РТП Брюса и РТП Буссе, – сеть построена на базе радиорелейной станции связи (РРС). В основном структура ССПД СУДС представляет собой линейное расположение РРС с топологией «точка–точка», диаграммы направленности антенн формируются с участием подстилающей морской поверхности. Такое построение ССПД СУДС имеет ряд существенных недостатков: неэффективное использование частотного ресурса из-за способа связи «полный дуплекс». Дело в том, что ССПД СУДС представляет собой сеть с централизованным управлением, т.е. основная информация от удаленных радиотехнических постов (РТП) передается в одном направлении – на центр управления (ЦУ) СУДС, где осуществляется ее сбор, обработка и принятие решения. В обратном же направлении (от ЦУ СУДС до РТП) объемы передаваемой информации незначительны. Таким образом, при топологии РРС 1+1 (режим работы с резервированием ствола) две частоты фактически «простаивают». Кроме того, также отмечается низкая защищенность от замираний и межсимвольных искажений (МСИ) ввиду большого влияния морской поверхности и неоднородностей нижних слоев атмосферы. Существующие в РРС инструментальные способы защиты от МСИ не обеспечивают полную компенсацию МСИ при сильных отражениях от морской поверхности, подтверждением чего является пример нашего расчета профиля интервала РТП Брюса–РТП Буссе. На рис. 2 представлены результаты расчета с помощью программного

комплекса «Альбатрос-Территория» ЗАО Информационный космический центр «Северная корона».

Рис. 2. Профиль интервала РТП Брюса–РТП Буссе.
Здесь и далее – иллюстративный и расчетный материал авторов.

Результаты проведенного нами расчета позволяют заключить, что на участке протяженностью более 13 км возникает зона интенсивного рассеяния и отражение радиоволн от морской поверхности. И как следствие – наблюдается сильно выраженная многолучевость сигнала, вызывающая интерференцию радиоволн в точке приема. В этом случае мы предлагаем применить альтернативную технологию на основе БШД, что позволит использовать дополнительные инструменты защиты от межсимвольных искажений и существенно повысить эффективность применения такой технологии при многолучевости.

Технология WANFleX. В нашей работе мы рассмотрим возможность внедрения оборудования системы SkyMAN, разработанной российской компанией InfiNet Wireless, которое работает под управлением операционной системы WANFleX. Данная телекоммуникационная технология беспроводного широкополосного доступа для построения ССПД в системе управления движением судов не уступает по своим возможностям лучшим мировым образцам. Кроме того, оборудование WANFleX по стоимости не выше, чем технологии Wi-Fi, и так же, как технология WiMAX, обеспечивает неколлизионный доступ к среде и такую же дальность радиосвязи.

Сценарий организации канала связи с морским транспортом можно представить следующим образом:

1. Установка секторных базовых станций (БС), размещенных на территории порта и побережье Амурского залива, для объединения в единую информационную сеть морских администраций портов и их подразделений, радиотехнических постов и кораблей, государственных и негосударственных лоцманских служб и т.д. Сектора БС можно объединить в единую сетевую архитектуру MINT (Mesh Interconnection Network Topology) с помощью коммутатора InfiMUX, устанавливаемого на узле агрегации.

2. Стационарные абонентские станции размещаются на стационарных объектах морского порта, обеспечивая подключение к сети БШД локальных проводных сетей. Выбор оборудования зависит от технических задач проекта.

3. Мобильные абонентские станции устанавливаются на кораблях и представляют собой специализированный судовой комплект. Используемые антенны определяются особенностями проекта. Судовой комплект обеспечивает всенаправленное покрытие вокруг корабля. Также имеется коммутатор для контроля качества связи и мгновенного выбора абонентской станции с наилучшим условием приема при движении корабля. Также рекомендуется использовать устройство компенсации качки с гироскопическим принципом действия, для того чтобы сохранить абонентскую станцию в одном положении относительно базовой станции.

4. Узел агрегации и центр управления, необходимые для связи основного и резервного магистральных каналов связи. Центральный узел связи обычно располагается в центре СУДС. Он представляет собой сервер с системой мониторинга состояния и централизованным управлением беспроводной сети и обеспечивает непрерывный контроль за всеми элементами сети, а также переключение движущихся объектов между БС.

Определение требований к приемопередающему оборудованию SkyMAN

Выбор оборудования SkyMAN обусловлен тем, что семейство InfiLINK XG 1000 является высокопроизводительным решением в магистральных каналах связи для телекоммуникационной инфраструктуры, в том числе как беспроводной канал связи над водной поверхностью, рассчитанный на сверхдальний диапазон (до 100 км в случае использования внешних антенн с высоким коэффициентом усиления), а также современной альтернативой устаревшим радиорелейным системам. Кроме того, данное оборудование имеет высокую пропускную способность и спектральную эффективность, отличается высокой надежностью на больших расстояниях в условиях как прямой видимости (LOS), так и ее отсутствия (NLOS) [1]. Для реализации высокоскоростного канала «точка–точка» между РТП Брюса–РТП Буссе в табл. 1 приведены данные для выполнения расчета необходимой мощности передатчика.

Таблица 1

Требуемые характеристики оборудования SkyMAN

Характеристика	Значение
Частотный диапазон в режиме высокоскоростного	4,9–6
Рабочая частота, ГГц	5
Коэффициент усиления передающей антенны, дБи	28
Сопротивление антенны, Ом	50
Чувствительность приемника, дБм	–93
Длина антенны, м	0,6

Мощность передатчика определяется по формуле напряженности поля, создаваемой в свободном пространстве направленной антенной:

$$E_m = \frac{\sqrt{60 \cdot P \cdot G}}{r}, \quad (1)$$

где E_m – напряженность электрического поля в точке приема, В/м; P – мощность передатчика, Вт; G – коэффициент усиления антенны; r – расстояние между приемником и передатчиком, м.

Амплитуда минимальной напряженности электрического поля, необходимая для уверенного приема, согласно известному соотношению, связывающему ЭДС приемной антенны и ее действующую длину, составит $E_{m \min} = 0,858 \frac{\text{мВ}}{\text{м}}$. Следовательно, мощность передатчика для выбранной радиолинии равна $P = 41$ мВт.

Большое влияние на распространение радиоволн в реальных условиях оказывает поверхность Земли, а также состояние атмосферы и постоянное присутствие гидрометеоров в слоях тропосферы. Чтобы это учесть, вводится множитель ослабления, который зависит от

протяженности трассы, высот подвеса антенн, рельефа местности и т.д. Множитель ослабления на открытом интервале линии передачи данных имеет интерференционный характер, поскольку в точку приема помимо прямой волны приходит несколько волн, отраженных от разного рода подстилающей поверхности [6]. В качестве подстилающей поверхности выступает вода (необходимые параметры радиотрассы для дальнейшего расчета приведены в табл. 2).

Таблица 2

Параметры радиотрассы

Параметры	Радиотрасса РТП Брюса–РТП Буссе
Координаты станции (широта /долгота)	42° 52' 45" / 131° 27' 47,5"
Протяженность, км	45, 772
Тип подстилающей поверхности	Вода
Высота подвеса антенн, м	20–15

Интерференционный множитель ослабления для радиотрассы в зоне СУДС можно определить по соотношению:

$$V = \sqrt{1 + \Phi^2 + 2 \cdot \Phi \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot h_1 \cdot h_2}{\lambda \cdot r} + \theta\right)} = 1,799, \quad (2)$$

где Φ – модуль коэффициента отражения; h_1 – высота подъема передающей антенны, м; h_2 – высота подъема приемной антенны, м; r – протяженность трассы, м; θ – фаза коэффициента отражения, град.

Для определения модуля коэффициента отражения используются номограммы «Кривые модулей коэффициентов отражения» и «Кривые аргументов коэффициентов отражения», приведенные в [2], согласно которым для воды $\Phi = 0,8$. Также значение фазы коэффициента отражения стремится к 180° при распространении радиоволн на большие расстояния.

Таким образом, необходимая мощность передатчика с учетом интерференционного множителя ослабления равна $P = 13$ мВт.

Расчет ослабления сигнала в дождевых образованиях определяется по формуле

$$\gamma = \beta \cdot J^\alpha, \quad (3)$$

где J – интенсивность осадков, мм/ч; α и β – эмпирические коэффициенты.

Значения эмпирических коэффициентов может варьироваться в очень широких пределах в зависимости от района, сезона и синоптической ситуации. Так исходя из номограммы для определения коэффициента ослабления в дожде [2] $J = 6$ мм/ч, а учитывая выбранную рабочую частоту, $\alpha = 1,395$, $\beta = 0,005$.

Эффективную протяженность дождевого образования можно определить по эмпирической формуле

$$R_{\text{эф}} = \frac{r}{1 + \frac{r}{35 \cdot \exp(-0,015 \cdot J_{0,01})}} = 14,22 \text{ км}, \quad (4)$$

где $J_{0,01}$ – интенсивность дождя, который идет в данной местности в течение 0,01% времени, мм/ч; r – длина радиотрассы, км.

Величина $J_{0,01}$ определяется по номограмме «Статистические распределения среднeminутных значений интенсивности дождей» [2]: $J_{0,01} = 60$ мм/ч.

Множитель ослабления при поглощении радиосигнала гидрометеорами определяется по формуле

$$V_{\text{ГМ}} = -\gamma \cdot R_{\text{эф}}, \quad (5)$$

где γ – коэффициент ослабления, дБ/км; $R_{\text{эф}}$ – эффективная длина трассы, км, на которой коэффициент ослабления примерно постоянен и равен γ .

Что касается коэффициента ослабления в сухом снеге и граде, то он значительно меньше, чем при дожде той же интенсивности, – из-за меньшей величины диэлектрической проницаемости твердых частиц. Однако, согласно [2], на частотах меньше 50 ГГц влиянием сухого снега можно пренебречь, а коэффициент ослабления при мокром снеге равен коэффициенту ослабления при дожде той же интенсивности.

Туманы во Владивостоке – частое явление, поэтому ослабление сигнала в тумане и облаках соответствует формуле

$$\gamma = k_e \cdot M, \quad (6)$$

где M – количество жидкости в единице объема (водность), г/м^3 , выбираемое из таблицы «Характеристики облаков и туманов» [2]; k_e – коэффициент ослабления на единицу водности, $\text{дБ} \cdot \text{м}^3/\text{км} \cdot \text{г}$, определяемый по номограмме «Определение коэффициента ослабления в туманах и облаках» [2].

Значение водности для капельно-жидких туманов $M = 1 \text{ г/м}^3$, для смешанных туманов – $M = 0,3 \text{ г/м}^3$. Коэффициент ослабления на единицу водности при -8°C $k_e = 0,053 \text{ дБ} \cdot \text{м}^3/\text{км} \cdot \text{г}$, 20°C $k_e = 0,03 \text{ дБ} \cdot \text{м}^3/\text{км} \cdot \text{г}$.

Горизонтальная протяженность туманов достигает нескольких сотен километров, вертикальная – до тысячи метров. Слоистые облака имеют горизонтальную протяженность до 1000 км, а кучевые – до 10 км, вертикальная протяженность облаков – до 10 км. Учитывая эти размеры, для облаков и туманов можно считать $R_{\text{эф}} \geq r$.

Экспериментальные данные, приведенные в [2], показывают, что ослаблением сигнала кислородом и водяным паром можно пренебречь на частотах, меньших 15 ГГц. Рассчитанные значения мощности сигнала в гидрометеорах отражены в сводной табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета мощности при поглощении сигнала в гидрометеорах

Параметры		Капельно-жидкие туманы		Смешанные туманы		Дождь и мокрый снег
		-8°C	20°C	-8°C	20°C	
Коэффициент ослабления	$\gamma, \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$	0,053	0,03	0,016	0,009	0,061
Множитель ослабления	$V, \text{дБ}$	-2,426	-1,373	-0,728	-0,412	-0,866
Мощность передатчика	$P, \text{мВт}$	71	56	48	45	50

Пропускная способность, обеспечиваемая SkyMAN радиоинтерфейсом, зависит в первую очередь от ширины радиоканала и типа используемой модуляции. Согласно заявлению производителя [12], применяется технология передачи MIMO 2x2 при использовании двух несмежных частотных каналов, ширина которых может составлять 10, 20, 40 МГц, реальная производительность оценивается до 1000 Мбит/с, при этом может поддерживаться тип модуляции от QPSK 1/4 до QAM1024 8/10.

Воспользуемся сервисом планирования беспроводных каналов связи InfiPLANNER [10] в качестве инструмента для канала «точка–точка». Для расчета используются модели распространения радиоволн ITU-R P.530 и Longley-Rice, с учетом среднестатистических данных о погодных условиях в районе строительства беспроводного канала связи. Зададим параметры беспроводного соединения согласно табл. 1, далее установим значение ширины канала, для этого сначала выберем число несущих, так как некоторые семейства беспроводных устройств осуществляют прием и передачу одновременно на двух частотах. В завершение установим ограничение на максимальную мощность передатчика беспроводного устройства, согласно приведенному выше расчету. Результаты оценки беспроводного соединения доступны во вкладке «Результаты и оборудование», работа с которым включает 3 основных шага: выбор модели беспроводного устройства для точки 1; выбор модели беспроводного

устройства для точки 2; просмотр результатов. Результаты оценки беспроводного канала РТП Брюса–РТП Буссе представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты оценки беспроводного соединения РТП Брюса–РТП Буссе

Оборудование			Мощность передатчика		Несущая частота		Ширина канала	
InfiLINK XG 1000 Xm/5.1000.4x150.2x28 интегрированная двухполя- ризационная антенна, 28 дБ, 5x5 град.			19 дБм		5 ГГц		2x40 МГц	
Расчетная производительность и доступность для 45,772 км								
Модуля- ция	РТП Брюса→ РТП Буссе		РТП Буссе→ РТП Брюса		Производительность		РТП Брюса→ РТП Буссе	
	Доступ- ность, %	Простой, ч/год	Доступ- ность %	Простой, ч/год	кадр 2 мс, Мбит/с	кадр 10 мс, Мбит/с	RSL, дБм	Fade margin, дБ
QPSK 1/4	99,98246	1,5	99,98246	1,5	36	54,8	-64,6	20,4
QPSK 1/2	99,97843	1,9	99,97843	1,9	76,2	118,3	-64,6	19,4
QPSK 3/4	99,97335	2,3	99,97335	2,3	118,3	183,3	-64,6	18,4
QAM 16 1/2	99,96695	2,9	99,96695	2,9	159,7	248,3	-64,6	17,4
QAM 16 3/4	99,89269	9,4	99,89269	9,4	245,1	379,1	-64,6	12,4
QAM 16 2/3	99,65841	1,3 дней/год	99,65841	1,3 дней/год	329,2	510	-64,6	8,4

По результатам проведенного расчета, можно заключить, что при модуляции QPSK 1/4 будет обеспечена максимальная доступность канала, однако производительность составит всего 54,8 Мбит/с. Пиковое значение пропускной способности может достигать более 500 Мбит/с при полосе 40 МГц и модуляции типа QAM 64 2/3, но в этом случае коэффициент готовности сети составляет 99,648%. Дополнительные расчеты показывают, что при ширине канала 10 МГц и модуляции типа QAM 256 3/4 пропускная способность может достигать 180 Мбит/с, это доказывает, что продукт компании InfiNet Wireless является высокоскоростным решением топологии «точка–точка». Кроме того, показатель уровня принимаемого сигнала (RSL) составляет -64,6 дБм, это говорит о том, что для достижения максимальной производительности достигнут близкий к оптимальному уровень мощности сигнала на приеме.

Проведем сравнительный анализ технических характеристик выбранного оборудования SkyMAN и действующей радиорелейной линии (РРЛ) РТП Брюса–РТП Буссе (табл. 5).

Таким образом, для организации связи между РТП СУДС может быть использовано SkyMAN оборудование, мощность которого соответствует определенным нами требованиям, согласно техническим характеристикам, приведенным в табл. 1, и параметрам радиотрассы в табл. 2. К достоинствам предложенного подхода можно отнести то, что высокая пропускная способность сети позволит решать наиболее сложные задачи, среди которых поддержка двух типов абонентов (стационарных и мобильных), передача данных с судов и камер видеонаблюдения, поддержка технологии цифровой аудиосвязи через интернет-телефонию, а также обеспечение конфиденциальности и целостности передаваемых по сети данных. Поскольку действующая технология в интересах администрации центра СУДС Владивосток не способна обеспечить высокоскоростную передачу данных, мы предлагаем внедрить в ССПД СУДС технологию БШД с использованием отечественной операционной системы WANFlex как альтернативу спутниковым и радиорелейным каналам связи.

Таблица 5

Сравнительный анализ технических характеристик оборудования

Параметры	InfliLINK XG 1000	РРЛ РТП Брюса – РТП Буссе
Рабочая частота, ГГц	5	7
Мощность передатчика, дБм	19	28–27
Чувствительность приемника, дБм	-93	-91
Коэффициент усиления передающей антенны, дБи	28	41
Типы модуляции	QAM 64 2/3	C-QPSK
Пропускная способность, Мбит/с	до 1000	до 38
Дистанция, км	до 50	до 50

Заключение и дальнейшие направления исследования

Итак, мы рассмотрели применение технологии БШД для обеспечения безопасности мореплавания. Были учтены климатические и гидрометеорологические условия, наиболее вероятные в рассматриваемом районе. Обоснована необходимость внедрения более надежной, экономически эффективной и безопасной (по сравнению с действующей) технологии связи для устойчивой морской индустрии между РТП Брюса и РТП Буссе. Технология БШД, разработанная российской компанией InfiNet Wireless, в наибольшей степени соответствует требованиям нормативных документов по функционированию ССПД СУДС в России. Исследование показало, что вполне возможно провести модернизацию радиорелейной линии связи на морском участке канала связи РТП Брюса–РТП Буссе посредством сети БШД по схеме «точка–точка».

Область дальнейшего исследования связана с рассмотрением топологии сети БШД «точка–многоточка» с целью объединения всех организаций СУДС, работающих в акватории залива Петра Великого, в единую информационную сеть. В этом случае необходимо использовать следующие элементы сети: базовые станции (БС), подключенные к магистральной сети и обеспечивающие обмен трафиком с абонентскими и ретрансляционными станциями (АС и РС соответственно) в зоне обслуживания; РС – для увеличения дальности и обхода препятствий и блокировки БС от некоторых АС; АС – для беспроводного подключения сетей и абонентов к БС или РС.

Вклад авторов в статью: Скварник И.С. – расчет профиля интервала радиорелейной линии связи; Совкова О.И. – планирование беспроводного канала связи и его оценка; Стаценко Л.Г. – общее научное руководство, определение требований к приемопередающему оборудованию для беспроводного широкополосного доступа; Турмов Г.П. – обзор состояния вопроса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспроводная инфраструктура сетей широкополосного доступа, 3G и 4G. InfiNetWireless Ltd, 2018. 16 с. URL: <https://docplayer.ru/26585249-Besprovodnaya-infrastruktura-setey-shirokopolosnogo-dostupa-3gi4g.html> (дата обращения: 28.10.2019).
2. Каменский Н.Н., Модель А.М., Надененко Б.С. и др. Справочник по радиорелейной связи. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1981. 416 с. URL: <http://padaread.com/?book=3567&pg=5> (дата обращения: 18.11.2019).
3. Качество связи. URL: <https://mobilebooster.ru/post/137/karta-pokryitiya-3g4g-tele2-megafon-mts-bilaup/> (дата обращения: 18.11.2019).
4. Об утверждении требований к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 23 июля 2015 г., № 226. URL: http://rosmorport.ru/media/File/News/requirements_VTS.pdf (зарегистрировано в Минюсте РФ 28.10.2015 № 39517).

5. Технологическая сеть радиосвязи «Росморпорт» в акватории Финского залива. URL: <https://infinet.ru/news/Gulf%20of%20Finland%20Request%20InfiNet%20Wireless%E2%80%99> (дата обращения: 15.10.2019).
6. Шаповалов А.А. Использование беспроводных сетей стандарта IEEE 802.16 (WiMAX) для построения канала передачи информации в системах управления безопасностью мореплавания // Управление большими системами. 2009. Вып. 25. С. 294–320.
7. Abdelmoula Ait Allal, Khalifa Mansouri, Mohamed Youssfi, Mohammed Qbadou. Toward a new maritime communication system in Detroit of Gibraltar where conventional and autonomous ships will co-exist, Laboratory: signals, distributed systems and Artificial Intelligence (SSDIA) ENSET Mohammedia. Univ. Hassan II of Casablanca, 2017, pp. 255–262.
8. Ali Hosseini-Fahraji, Kexiong Zeng, Yaling Yang, Majid Manteghi. A Self-Sustaining Maritime Mesh Network, Electrical and Computer Engineering Virginia Tech Blacksburg, VA, USA. 2019, pp. 1–2.
9. InfiNet Wireless and Trellisworks Provide High-Speed Ethernet Network Connectivity for Red Funnel Ferries. InfiNet Wireless Ltd and Trellisworks wireless connectivity, 2016, 2 p.
10. InfiPLANNER – wireless link planning service. URL: <http://infiplanner.infinet.ru> – 11.02.2019.
11. Kim H.-J., Choi J.-K., Yoo D.-S., Jang B.-T., Chong K.-T. Implementation of MariComm bridge for LTE-WLAN maritime heterogeneous relay network, in Proc. Int. Conf. Adv. Commun. Technol. (ICACT). Seoul, South Korea, Jul. 2015, pp. 230–234.
12. Product datasheet InfiLINK XG Xm/5.1000.4x150.2x28. 2019. 4 p. URL: <https://infi-net.ru/products/infilink-xg/xm-5-1000-4-150-2-28-3/> – 11.05.2019
13. Rogers P. DCT improves operational efficiency and security with InfiNet Wireless, 2019. URL: <https://www.intelligentdatacentres.com/2019/09/13/dct-improves-operational-efficiency-and-security-with-infinet-wireless/> – 10.15.2019
14. Zainuddin Zahir, Wardi, Nantan Yurika. Applying Maritime Wireless Communication to Support Vessel Monitoring. Electrical Engineering Department Hasanuddin Univ. Gowa, Indonesia, 2017, pp. 158–161. URL: https://www.researchgate.net/publication/322514771_Applying_-maritime_wireless_communication_to_support_vessel_monitoring – 11.16.2019
15. Zhou Ming-Tuo, Hoang Vinh Dien, Harada Hiroshi, TRITON: High-speed maritime wireless mesh network, IEEE Wireless Commun. 2013(20);5:134–142. URL: https://www.researchgate.net/publication/260656467_TRITON_Highspeed_maritime_wireless_mesh_network – 11.16.2019

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2019. N 4/41

Physical Fields of Ship and Ocean

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-12>

Skvarnik I., Sovkova O., Statsenko L., Turmov G.

IGOR SKVARNIK, Postgraduate Student, e-mail: iskv@lemz-dv.ru
 OLGA SOVKOVA, Master Student, e-mail: sovkova.olga@inbox.ru
 LUBOV STATSENKO, Head of Department, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, AuthorID: 442752, SPIN: 1082-8734, ORCID: orcid.org/0000-0001-7498-9534, ResercherID: F-8862-2014, ScopusID: 6507661729, e-mail: lu-sta@mail.ru
 Department of Electronics and Communications, School of Engineering
 GENNADIY TURMOV, Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: turmov@yandex.ru
Far Eastern Federal University
 8, Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

Wireless broadband technologies: assessment of the applicability in vessel traffic management system

Abstract: The latest advances in wireless technologies allow mobile users to access various data services anytime and anywhere on land. However, ensuring reliable data transmission for maritime users is a one of the difficult tasks due to the nature of radio waves spreading over the sea surface,

the consequence of which are fading and inter-symbol interference (ISI), which adversely affect the quality of the transmitted information. In view of the fact that the communication and data transfer networks of vessel traffic management systems (CDTN VTMS) are one of the key components of the navigation safety, it is necessary to develop maritime communication supporting high-speed data transmission speeds and extended coverage. The article discusses the application of wireless broadband access (WBA) technology in the CDTN VTMS, using the domestic WANFleX operating system as an alternative to satellite and radio relay links. The use of a wireless radio interface can provide high line-of-sight reliability over a distance of more than 80 km, and transceiver equipment can be located on existing radio relay stations, reducing capital construction costs. An innovative aspect of such approach is that in Russia the WBA technology has not previously been used in the VTSS VTS. The article discusses the application of WBA technology based on the WANFleX operating system developed by the domestic company InfiNet Wireless.

Keywords: wireless broadband access, CDTN VTMS, inter-symbol interference, WANFleX, radio-relay link.

REFERENCES

1. Wireless broadband, 3G, and 4G infrastructure. International head office InfiNetWireless Ltd, 2018, p. 16. URL: <https://docplayer.ru/26585249-Besprovodnaya-infrastruktura-setey-shirokopolosnogo-dostupa-3gi4g.html> – 28.10.2019.
2. Kamensky N.N., Model A.M., Nadenenko B.S. et al. Radio Relay Guide, 2 ed. M., Radio and communication, 1981, p. 416. URL: <http://padaread.com/?book=-3567&pg=5> – 18.11.2019.
3. The quality of communication URL: <https://mobilebooster.ru/post/137/karta-pokryitiya-3g4g-tele2-megafon-mts-bilayn/> – 18.11.2019.
4. Requirements for radar vessel traffic control systems, seaport infrastructure facilities required for the functioning of the Global Maritime Distress and Safety System, facilities and means of the automatic information system, shipping control and monitoring service. Approved by Instruction N. 226, dated 23.07.2015, of the RF Ministry of Transport, the applicable IMO resolutions, IEC standards, IALA and ITU recommendations.
5. Rosmorport technological radio communication network in the Gulf of Finland, URL: <https://infinet.ru/news/Gulf%20of%20Finland%20Request%20InfiNet%20Wireless%E2%80%99> – 15.10.2019.
6. Shapovalov A. Using IEEE 802.16 (WiMAX) wireless networks to build data transmission channel in safety of shipping management systems. Management of large systems. 2009, Issue 25. pp. 294–320.

For a complete list of references, see the previous page.