Физические поля корабля, океана и атмосферы

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-3-11>
УДК 656.61.052;621.396.4;004.716

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

СТАЦЕНКО ЛЮБОВЬ ГРИГОРЬЕВНА – д.ф.-м.н., профессор, SPIN: 1082-8734,
ORCID: orcid.org/0000-0001-7498-9534, ResercherID: F-8862-2014,
ScopusID: 6507661729, e-mail: lu-sta@mail.ru
СОВКОВА ОЛЬГА ИГОРЕВНА – магистрант, e-mail: sovкова.olga@inbox.ru
СКВАРНИК ИГОРЬ СВЯТОСЛАВОВИЧ – аспирант, e-mail: iskv@lemz-dv.ru
Политехнический институт (Школа)
Дальневосточный федеральный университет
Владивосток, Россия

Анализ возможностей технологий беспроводного широкополосного доступа для обеспечения безопасности мореплавания в заливе Петра Великого

Аннотация: Система управления движением судов (СУДС) – сложный комплекс стационарных технических сооружений береговых служб, образующий единую систему безопасности мореплавания, обеспечивая сбор и обработку информации о навигационной обстановке с целью осуществления оперативного контроля за движением судов в границах зоны ответственности. Важная составляющая СУДС залива Петра Великого – сеть связи и передачи данных (ССПД), которая обеспечивает своевременную доставку информации о навигационной обстановке с радиотехнических постов на центры управления СУДС. Анализ взаимодействия радиоволн с морской поверхностью показывает, что радиосигнал отражается от водной поверхности, в результате на приёмной стороне из-за интерференции прямых и отраженных лучей наблюдаются межсимвольная интерференция и замирания, которые существенно снижают качество каналов связи. Поэтому для того чтобы сеть передачи данных оставалась эффективной с перспективой для последующего развития морской отрасли, необходим поиск новых технологических решений, которые бы обеспечили надежную компенсацию многолучевости. В настоящей статье рассматривается применение в СПД СУДС технологии беспроводного широкополосного доступа на базе оборудования компании InfiNet, которое позволяет найти оптимальный баланс между пропускной способностью, помехозащищенностью и дальностью покрытия сети.
Ключевые слова: технологии беспроводного широкополосного доступа, безопасность мореплавания, InfiNet, радиорелейные линии.

Введение

Морские порты Владивосток и Находка – одни из крупнейших портово-транспортных узлов России на Тихом океане. Объединяет эти два порта в одну информационную сеть действующая на акваториях региональная система управления движением судов (СУДС) залива Петра Великого, поскольку морское пространство характеризуется сложной судоходной обстановкой. На территории порта Владивосток действуют такие крупнейшие терминалы, как морской торговый порт, морской рыбный порт и контейнерный терминал «Пасифик лоджистик», также морской порт имеет смежную акваторию с главной военно-морской базой Тихоокеанского флота Российской Федерации, а в Находке расположены морской рыбный порт и база активного морского рыболовства. Основу грузооборота порта Владивосток составля-

ют внешнеторговые грузы, порт обеспечивает морские перевозки в северо-восточные регионы России и Восточную Арктику. Кроме того, близ порта Находка, в бухте Новицкого действует крупнейшая на Дальнем Востоке нефтеперевалочная база. Поэтому контейнеровозы, траулеры, танкеры большого размера перемещаются в пределах ограниченной области наряду с интенсивным локальным движением высокоскоростных паромов, рыболовных судов и круизных лайнеров. Из-за климатических особенностей данного региона плавание на подходах к порту и на его акватории в летний и весенний период затруднено из-за частых и густых туманов. В связи с этим эффективность функционирования порта в условиях повышения интенсивности судоходства и ввода новых портовых мощностей, роста трафика судов, перевозящих грузы, создание и поддержание на должном уровне ССПД СУДС особо актуальны. Стоит отметить, что модернизация региональной ССПД СУДС залива Петра Великого связана с развитием крупномасштабных проектов на юге Приморья: модернизация крупного нефтеналивного терминала – конечная точка магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь–Тихий океан» в бухте Козьмино, а также реализация проекта свободного порта Владивосток (принят 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 СУДС с целью объединения всех организаций системы, работающих в акватории залива Петра Великого, в единую информационную сеть. Эта задача находится в центре внимания Минтранса России, Федерального агентства морского и речного транспорта и ФГУП «Росморпорт» [11]. Определенная правительством РФ и этими ведомствами стратегия важна для развития всей портовой отрасли России, в частности морских перевозок как внутри страны, так и за рубежом. Однако достижение эффективных экономических результатов невозможно без технической модернизации объектов инфраструктуры морских портов. Поэтому обеспечение безопасности мореплавания в акваториях морских портов и на подходах к ним – приоритетная задача государства.

В связи с этим цель статьи – разработка сети передачи данных для СУДС залива Петра Великого с использованием технологии высокоскоростного беспроводного доступа.

В последнее время растет интерес к разработке новых инфраструктур для морских коммуникаций, связанных с обеспечением безопасности мореплавания. Чтобы идти в ногу с растущими потребностями в услугах морской передачи данных, зарубежные и отечественные исследователи пытаются применить существующие наземные беспроводные технологии к системам морской связи для информационного обеспечения безопасности мореплавания. Проанализируем ряд простых, недорогих и успешно функционирующих решений по организации беспроводного широкополосного доступа над водной поверхностью.

Анализ наземных беспроводных технологий применительно к системам морской связи

Технология LTE совместно со спутниковой системой связи SatCom. Для обеспечения безопасности морской навигации судов исследователи из норвежского университета естественных и технических наук разработали концепцию WiCAN [16], которая использует базовые станции на побережье с различными технологиями мобильной связи и вне зоны действия наземных систем переключается на спутниковую связь SatCom. Этому способствует интеллектуальный маршрутизатор на корабле, преимущество которого заключается в наличии гетерогенной беспроводной системы связи с несколькими несущими HeWiMuCS. Коммутатор/маршрутизатор решает, какую несущую использовать (на основе выбранных критериев производительности), и облегчает передачу обслуживания между несущими связи. В Тронхеймсфьорде (Норвегия) были проведены измерения в течение дня с максимальным расстоянием 45 км. Впоследствии полученные данные сравнивались с моделями распространения радиоволн над морской поверхностью: эмпирическая модель, основанная на рекомендации МСЭ-R P.1546-4, и две аналитические модели PEL, REL. Стало понятно, что для сетей

LTE можно использовать частотный диапазон 2,6 ГГц (существующие системы в Норвегии), 1,8 ГГц и 800 МГц (в будущем). В качестве антенных решений для судов была предложена двухдиапазонная антенная система, где антенны VSAT и LTE объединены в один блок с использованием одного обтекателя для обеих систем. В итоге предлагаемое решение сделало возможным покрытие со скоростью 80 Мбит/с на расстоянии 100 км и более от побережья. Достаточно подробно в [9, 14] рассмотрено внедрение за рубежом передовых информационных технологий WiMAX и Wi-Fi. Предполагается, что применение таких методов физического уровня и сетевых архитектур станет перспективным направлением в будущих системах безопасности мореплавания.

В ССПД СУДС данные технологии могут найти применение в системе «корабль–берег» района А1 на участках РТП–корабль и ЦУ СУДС–корабль.

Технологии eLTE. Крупнейшая мировая компания в сфере телекоммуникаций Huawei [13] внедрила вдоль реки Лицзян (протяженностью 83 км) провинции Гуйлинь систему широкополосной связи, которая поддерживает передачу голоса, видео и данных. Цель состояла в том, чтобы улучшить связь между сотрудниками полиции и персоналом учреждений, а также осуществлять видеонаблюдение за отдаленными районами. Создание системы связи было проблемой из-за пересеченной местности и необходимости поддержки патрульных катеров по всей реке. Как проводные/оптоволоконные сети, так и беспроводные сети было трудно развернуть, потому что река протекает через многочисленные пещеры и вокруг знаменитых известняковых холмов. Кроме того, технология WiMAX не смогла обеспечить высокоскоростную мобильность, необходимую для патрульных катеров. Чтобы покрыть всю реку, Huawei разработала мультисервисную сеть с 20 небольшими базовыми станциями LTE. Каждая базовая станция охватывает радиус от 3 до 4,3 мили (5–7 км). Huawei также установила широкополосную транкинговую систему LTE на лодке, которая действует как мобильный командный центр. Сеть LTE поддерживает систему видеонаблюдения, которая включает в себя камеры HD для круглосуточного наблюдения в режиме реального времени. Решение eLTE от Huawei предоставило ряд преимуществ полиции Лицзяна, среди которых значительно более низкий уровень аварийности вдоль реки с гораздо лучшей эффективностью аварийного реагирования.

Данная технология активно внедряется в ССПД СУДС в системе «корабль–берег» района А1 для обеспечения радиотелефонной связи с судами.

Технологии беспроводного широкополосного доступа для безопасности мореплавания. Российская компания Инфинет (InfiNet Wireless) занимается разработкой и развертыванием новейших сетевых инфраструктур в области беспроводных технологий. В сотрудничестве с зарубежной компанией PT Warga Kusuma Jaya (партнёр InfiNet, ведущий системный интегратор телекоммуникационных услуг в области интеграции и техобслуживания систем управления движением судов – VTS в более чем 20 районах Индонезии) Инфинет спроектировала сеть в порту Distrik Navigasi Kelasi I [3], расположенном в индонезийском городе Сурабая – втором по загруженности в восточной части острова Ява и третьем по величине в Индонезии. Эксплуатационные и технические характеристики имевшейся в порту системы управления движением судов не соответствовали рекомендациям Международной ассоциации маячных служб (IALA). Наибольшие трудности вызваны тем, что в систему не была интегрирована электронная навигационная карта (ENC). Вместо неё использовались Google-карты, точность геолокации которых недостаточно высока. Система нуждалась в модернизации еще и потому, что передача информации осуществлялась посредством устаревшей технологии радиорелейных линий связи. Слишком низкая пропускная способность старой сети не позволяла передавать данные с судов и камер видеонаблюдения, а также использовать радиолокацию. По результатам проведенной оценки для полноценной работы системы VTS пропускная способность сети должна была составлять не менее 20 Мбит/с. При этом создаваемая сеть должна была обеспечивать большое покрытие и корректно передавать данные

над водой в зоне с 60-процентной прямой видимостью, связанной со сложными топологическими характеристиками. Первоначально был организован один беспроводной канал связи «точка–точка», соединяющий порт Сурабая и удаленный маяк Сембиланган. Он создан с использованием оборудования, которое уже было установлено в этих точках. Вскоре после запуска канала связи выяснилось, что его производительности недостаточно для полноценной работы системы мониторинга. Для решения данной проблемы было рекомендовано организовать сеть «точка–многоточка», установив базовую станцию InfiMAN 2x2 на острове Каранг Джамуанг. Это позволило обеспечить покрытие зоны в 20 морских миль. Все три базовые станции оснастили дополнительными датчиками для повышения пропускной способности: она выросла до 35–50 Мбит/с, превзойдя ожидаемые 15–20 Мбит/с. Порт функционировал гораздо более эффективно благодаря установке полностью интегрированной системы мониторинга. Также услугами компании InfiNet Wireless воспользовалась компания Any-Port, основанная в 2005 г. для обеспечения широкополосной беспроводной связью международного сообщества парусного спорта стран западного Средиземноморья и Карибского бассейна [3]. Ключевой задачей Any-Port стало предоставление надежного беспроводного доступа в портах и прилегающих к ним территориях якорных стоянок и между движущимися объектами, которые меняют направление и скорость, испытывают частую боковую и килевую качку и т.д. Для запуска новых широкополосных беспроводных услуг компания решила использовать в своем проекте оборудование InfiNet Wireless серии 5000 – шесть базовых станций InfiNet R5000-O и абонентские устройства R 5000-L 2.4/5.4. Приемопередатчики и антенны компании Any-Port для обеспечения лучшего сервиса установлены непосредственно на лодках. Кроме того, Any-Port пришлось работать в уже занятой радиочастотной среде. На территории порта имелось большое количество техники, работающей на одних и тех же частотах – радары, существующие сети Wi-Fi, различные системы безопасности (например, спасательных служб), а также другие системы (включая военную технику) в непосредственной близости друг от друга.

На территории Республики Корея ведутся исследования по внедрению проекта LTE-Maritime [15], идея которого заключается в применении технологии LTE с зоной покрытия порядка 100 км и скоростью передачи данных в несколько Мбит/с. Архитектура сети LTE-Maritime состояла из базовых станций (БС), оборудования усовершенствованного пакетного ядра (EPC) и маршрутизаторов. При этом несколько БС расположили в горных районах на высоте 350 м вдоль береговой линии, для того чтобы обеспечить условия прямой видимости, а для повышения эффективности связи в районе островов разработаны 3 фемто-БС.

Исследователи из Индонезии в [17] обсуждают применение технологии беспроводной связи для системы мониторинга судов, такой как LR Wi-Fi от производителя Ubiquiti, с использованием частоты 2,4 ГГц на островах и морской поверхности, которые не были охвачены сигналом ближайшей сети мобильной связи на суше. Внедрение системы предполагает область покрытия до 8 км, что облегчит пользователям судов отправку срочной информации. Проект Mare-Fi [14] нацелен на экспериментальные исследования и разработку морской связи с высокой скоростью передачи и на большие расстояния, особое внимание здесь уделяется доступному интернету при высоких скоростях передачи данных, с использованием при этом нелицензируемых полос частот и рыболовных судов в качестве узлов ретрансляции. Для достижения цели был создан испытательный стенд, состоящий из двух наземных станций и восьми кораблей, ведущих промысел на атлантическом побережье г. Порту на расстоянии до 10 морских миль от берега. Первые экспериментальные результаты показали, что возможна передача данных по протоколу «судно–берег» с использованием Wi-Fi со скоростью 1 Мбит/с до примерно 10 км. Высокая пропускная способность, надежная связь над морем всегда была проблемой из-за большого расстояния. В связи с этим китайская исследовательская группа провела обзор по теоретическим и техническим проблемам, связанным с организацией беспроводной сети над морской средой. Wu Huafeng представил структуру сети передачи

данных, в которой используется коротковолновая ВЧ система MANET [12] для осуществления связи на расстояние десятков и более миль между судами. MANET – это временная многопролетная беспроводная сеть, которая не зависит от предустановленных средств связи и объединяет три сети беспроводной связи – MANET, сотовая сеть и сеть спутниковой связи. Сеть Mesh распространяется на морскую среду для поддержки беспроводной связи между судами. На каждом корабле есть точка беспроводного доступа, а весь флот представляет собой беспроводную ячеистую сеть. Стандарт протокола беспроводной сети Mesh имеет IEEE 802.11s и систему WiMAX в режиме ячеистой сети. Для поддержки связи между судном и берегом судовой шлюз и спутниковый шлюз используются в качестве интерфейса для MANET.

Таким образом, на базе широкополосных систем связи могут строиться гибкие, устойчивые к помехам сети, предназначенные для передачи мультисервисных потоков (данных голосового и видеотрафика), что является альтернативным решением построения ССПД СУДС на базе РРС.

Анализ и расчет качественных показателей действующей СУДС залива Петра Великого

СУДС – неотъемлемая часть Государственной системы обеспечения безопасности мореплавания, позволяет осуществлять мониторинг обстановки в акваториях морских портов и на подходах к ним в режиме реального времени [4]. Широкое использование различных радиотехнических систем на судах и береговых радиотехнических постах (РТП) обуславливает повышенное внимание к задачам анализа распространения радиоволн над морской поверхностью. Сбор, обработка и передача судоводной, навигационной и метеорологической информации в центр СУДС осуществляется посредством системы связи, которая ввиду удаленного расположения РТП и природных особенностей территорий строится в основном на базе средств радиосвязи СВЧ диапазона, способных к передаче на большие расстояния. К ним относятся радиорелейные линии связи, которые обеспечивают передачу данных между объектами СУДС. В то же время спутниковые сети (Inmarsat, Iridium и др.) охватывают весь океан и используются для компенсации низкой скорости передачи данных, но связанные с этим расходы очень высокие. На рис. 1 представлена структурная схема размещенной СУДС в портах Владивосток и Находка.

Рис. 1. Структурная схема расположения постов СУДС залива Петра Великого. цифровые двухканальные радиорелейные линии связи.

К особенностям организации каналов связи с водным транспортом можно отнести трассу распространения сигнала, так как ее отрезок расположен над протяженной водной поверхностью. Волны, распространяющиеся над поверхностью моря, могут быть подвержены медленному замиранию, связанному с переменным воздействием приливов-отливов, и затуханию, обусловленному неровностью поверхности моря [6]. При падении волны на гладкую

плоскую поверхность она отражается подобно световому лучу. Это так называемое зеркальное отражение радиоволн, но такое отражение наблюдается при штиле, который не свойственен для рассматриваемой территории. В свою очередь, для сантиметровых волн излучения взволнованное море делает поверхность «шероховатой». Тем самым радиоволны отражаются в различных направлениях, в том числе в обратном. В соответствии с критерием Релея высота допустимых неровностей, при которых отражение ещё можно считать зеркальным, определяется формулой

$$h \leq \frac{\lambda}{8 \sin \theta} = 0,08 \text{ м}, \quad (1)$$

где λ – длина волны, м; θ – угол скольжения, град.

Критерий Релея носит приближенный характер, поскольку не учитывает форму неровностей, вид поляризации и т.п. Однако качественно он правильно оценивает степень шероховатости отражающих поверхностей. Так, если море находится в неспокойном состоянии, то часть энергии радиоволн отражается. При этом отражение радиоволн подчиняется более сложным законам и отраженный луч имеет помимо зеркальной составляющей еще и диффузную, которая характеризуется случайной фазой и амплитудой как во времени, так и в пространстве [10]. Кроме того, непрерывно возникают неоднородности нижних слоев атмосферы из-за постоянно существующего турбулентного движения воздуха. Они являются следствием появления локальных областей с повышенной температурой в результате вихревого движения воздуха, из-за чего меняется (уменьшается) диэлектрическая проницаемость среды и, как следствие, меняется коэффициент преломления радиоволн. Наиболее интенсивно неоднородности образуются на высотах 1–2 км. Каждая неоднородность отличается своей диэлектрической проницаемостью от окружающей среды. Это отличие невелико (не более 20%), поэтому радиоволна, падающая на неоднородность, в основном проходит сквозь нее. Однако часть энергии радиоволны при этом рассеивается в разные стороны. Вследствие этого в точку приема могут прийти рассеиваемые волны [1, 2] от неоднородностей тропосферы, в результате чего (в том числе из-за подобного явления) образуется многолучевость. Свой вклад в общее ослабление радиосигналов в атмосфере могут вносить находящиеся в ней частицы различных веществ воды в виде гидрометеоров (дождь, снег, туман, облака и т.д.). Влияние гидрометеоров заметно уже при частотах больше 8 ГГц, а в неблагоприятных экологических условиях (при наличии в атмосферных осадках металлизированной пыли, смога, кислот или щелочей) – и на значительно более низких частотах. Ослабление напряженности поля в гидрометеорах объясняется рассеиванием электромагнитной энергии частицами. Под влиянием воздействующего поля каждая частица становится вторичным источником излучения, рассеивающим электромагнитную энергию в различных направлениях, в результате чего уменьшается доля энергии, распространяющаяся в точку приема. Таким образом, можно заключить, что в точке приема вследствие многолучевого распространения радиоволн, поглощения и рассеяния в осадках возникают замирания в результате изменения пространственно-временной структуры электромагнитного поля, что оказывает значительное влияние на качество функционирования каналов связи и объем передаваемой информации. Поэтому необходимо совершенствовать существующие способы передачи информации, а также искать и изучать новые виды связи, которые могли бы применяться для работы на водных просторах Мирового океана.

Расчеты профилей радиорелейных пролетов для ССПД СУДС залива Петра Великого, выполненные нами с помощью программного комплекса «Альбатрос–Территория» ЗАО Информационный космический центр «Северная корона», подтверждают, что радиорелейные интервалы, проходящие над поверхностью залива Петра Великого, характеризуются многолучевым распространением. В программном комплексе используется модель расчета, реализованная на основании рекомендации международного союза электросвязи МСЭ-R P.530-13 (2009) «Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для

проектирования наземных систем прямой видимости» [8], с учетом среднестатистических данных о погодных условиях в районе канала связи.

Результаты оценки радиорелейных пролетов представлены в табл. 1. В качестве примера на рис. 2 приведен один из самых протяженных профилей интервала РРЛ, доказывающий, что существующие инструментальные способы защиты от межсимвольной интерференции (МСИ) не обеспечивают полную компенсацию данного явления при отражениях от морской поверхности.

Таблица 1

Результаты расчета профилей РРЛ СУДС залива Петра Великого

РТП	Протяженность, км	SESR, % (худший месяц)	Кнг, % (худший месяц)	RSSI, дБм	L_{Σ} , дБ	Энергетический запас в линии связи, дБ	Участок, подозрительный на отражения, км	Субрефракция
Буссе–ЦСУДС Владивосток	5,817	$2,47 \cdot 10^{-12}$	0,0003858	-27,4	123,4	47,6	Нет	Нет
Брюса–Буссе	45,772	$2,27 \cdot 10^{-12}$	0,0003858	-33,8	143,78	57,2	13,250	Нет
Туманная–Брюса	40,459	$3,16 \cdot 10^{-12}$	0,0003858	-40,6	142,59	50,4	11,646	Нет
Зарубино–Туманная	9,432	$1,52 \cdot 10^{-12}$	0,0003858	-37,3	129,29	53,7	Нет	Нет
Посьет–Зарубино	24,159	$1,86 \cdot 10^{-12}$	0,0003858	-35,8	137,75	55,2	6,04	Нет
Крылова–Поворотный	4,619	$1 \cdot 10^{-14}$	0,0003858	-26,1	122,08	48,9	Нет	Нет
ЦСУДС Владивосток–Сысоева	40,745	$1,1 \cdot 10^{-7}$	0,0003858	-30,7	141,67	43	11,441	Нет
Сысоева–ТВ Находка	43,048	$3,26 \cdot 10^{-10}$	0,0003858	-41,2	143,19	49,8	Нет	Нет
РТП ТВ Находка–ЦСУДС Находка	19,152	$4,9 \cdot 10^{-10}$	0,0184588	-35,6	146,58	40,9	Нет	Нет
ЦСУДС Находка–Астафьева	12,657	$1 \cdot 10^{-14}$	0,0003858	-29,7	131,65	61,3	4,354	Нет
ЦСУДС Находка–Крылова	6,964	$1,79 \cdot 10^{-12}$	0,0014462	-33,1	135,64	47,9	Нет	Нет

Выполненный расчет РРЛ оценивается по следующим показателям: оценка показателя качества по ошибкам SESR на наихудший месяц (Severely Errored Second Ratio) в процентах; показатель неготовности (Кнг, %) на наихудший месяц; наличие участков, подозрительных на отражения; анализ субрефракции, анализ медианного уровня принимаемого сигнала и суммарных потерь, а также наличие не менее 30 дБ запаса на линии. При этом суммарные потери – это потери в свободном пространстве, в аппаратуре (затухание в антенно-волноводных трактах), в атмосфере (в атмосферных газах, а именно в водяном паре и кислороде тропосферного слоя) и дифракционные потери на рельефе, а также за счёт юстировки антенн.

Рис. 2. Профиль интервала РРЛ ЦСУДС Владивосток–РТП Сысоева.

По результатам расчета можно заключить, что на 5 из 11 участков возникает зона интенсивного рассеяния и отражения радиоволн от возмущенной поверхности моря на протяженности от 4 до 13 км при расчете для всех возможных условий рефракции атмосферы. Потери из-за поглощения газами тропосферы составили не более 1 дБ на исследуемых участках. В результате при взаимодействии радиоволн с морской поверхностью отраженный от неё сигнал формирует зеркальное отражение и рассеяние, и как следствие, наблюдается ярко выраженная многолучевость сигнала в точке приема со сложной интерференционной структурой, обуславливающей глубокие пространственные, поляризационные и временные замирания сигнала. Многолучевой характер распространения радиоволн характерен, когда в точку приема приходят волны с разных направлений и с разными временными задержками, следствие этого – явление межсимвольной интерференции, которая заметно снижает энергетический потенциал при передаче кодовых последовательностей. Искажения сигнала, обусловленные межсимвольной интерференцией, могут вызывать серьезные ухудшения качества передачи цифровой информации, если длительность задержки превышает длительность символа. Эти эффекты весьма существенны при передаче информации в цифровом виде. Таким образом, мы предлагаем внедрить альтернативную технологию на основе БШД, что даст возможность использовать дополнительные инструменты защиты в условиях искажений, вызванных межсимвольными помехами, и существенно повысить эффективность применения такой технологии при многолучевости.

Сравнение современных технологий беспроводной передачи данных в применении к ССПД СУДС

Для модернизации ССПД СУДС могут быть применены различные технологии беспроводной передачи данных. Основные – технологии Wi-Fi, WiMAX, радиорелейная связь, спутниковая связь и беспроводной широкополосный доступ. Для сравнительной оценки данных технологий в их применении к ССПД СУДС целесообразно сформулировать общие требования к ССПД СУДС, вытекающие из условий их эксплуатации и требований руководящих документов.

ССПД СУДС является сетью с территориально распределенной инфраструктурой, в которой входящие в ее состав объекты (ЦУ, РТП, морские суда) находятся на значительном удалении друг от друга, по своей структуре они могут быть расположены как в линейном порядке, так и «звездой». Кроме того, ССПД СУДС является системой централизованного

управления, при которой до 90% всей информации передается в одном направлении – на ЦУ СУДС, где происходит ее обработка и передача потребителям. Ввиду того что каналы связи ССПД СУДС используются для непосредственного управления судами, к их надежности предъявляются повышенные требования, которые исключают исчезновение канала связи в любых условиях обстановки. Из данных характеристик ССПД СУДС [7] следует, что важными для ее функционирования являются следующие показатели:

- режим связи – полный дуплекс, полудуплекс;
- топология построения – полносвязная, «точка–точка»;
- реализуемый протокол – коллизийный, неколлизийный;
- производительность – сотни Мбит/с;
- помехозащищенность – MIMO, OFDM, помехоустойчивое кодирование;
- стоимость.

Исходя из анализа показателей, для каждой из технологий можно сделать вывод об их применении в ССПД СУДС.

Технология Wi-Fi отвечает большинству требований ССПД СУДС, однако она имеет коллизийный протокол, что не может гарантировать доставку информации на ЦУ СУДС, особенно в форсмажорной обстановке. Вследствие этого данную технологию применять в ССПД СУДС нецелесообразно.

Технология WiMAX отвечает всем требованиям ССПД СУДС и наиболее оптимальна, однако на территории РФ сети WiMAX прекратили свое существование, что делает невозможным ее использование в ССПД СУДС.

Технология спутниковой связи отвечает всем требованиям функционирования ССПД СУДС, однако стоимость спутниковых каналов связи с широкой полосой пропускания чрезвычайно высокая, что делает нецелесообразным ее использование в ССПД СУДС.

Технология РРС, отвечающая большинству требованиям функционирования ССПД СУДС, сегодня является основной при построении ССПД СУДС. Однако слабая защищенность от многолучевости, нерациональное использование канального и частотного ресурсов и высокая стоимость снижают ее эффективность по критерию результат/стоимость, что и обуславливает поиск новых решений.

Технология БШД, отвечая всем требованиям функционирования ССПД СУДС, является альтернативой технологии РРС, а по критерию результат/стоимость – наиболее эффективна для построения ССПД СУДС.

В настоящее время на мировом рынке телекоммуникационного оборудования представлен очень широкий спектр оборудования БШД. Но в связи с тем, что строгих критериев «широкополосности» сегодня не существует, представленное оборудование БШД сильно отличается по своим техническим характеристикам и не может в полном объеме использоваться для построения ССПД СУДС.

Для сравнительной оценки оборудования БШД, которое может использоваться в ССПД СУДС, введем перечень показателей, которые определяются условиями функционирования ССПД СУДС. К основным следует отнести:

- наличие неколлизийного протокола;
- возможность реализации полносвязной топологии построения сети;
- использование технологии MIMO;
- высокая производительность (сотни Мбит/с);
- высокая пакетная производительность (более 400 000 пак/с);
- класс защищенности (не ниже IP 66);
- защищенность от многолучевости;
- наличие развитого сервиса качества обслуживания;
- широкий ряд номенклатуры изделий;
- стоимость владения оборудованием.

Наиболее полно реализует названные показатели оборудование БШД, производимое компаниями Motorola, Cambium, Ubiquiti и InfiNet. Первые три – представители США, а компания InfiNet – России. По своим техническим характеристикам оборудование идентично и способно решать задачи в составе ССПД СУДС. Однако стоимость владения оборудованием БШД, производимого компанией InfiNet, значительно ниже аналогов из США. Под стоимостью владения понимается суммарная стоимость, составляющие которой – цена оборудования и его надежность, выраженная в стоимости ремонтных работ и сервисного обслуживания.

Таким образом, в ССПД СУДС на территории РФ целесообразно использовать оборудование БШД компании InfiNet.

Среди сервисов, которые должны быть организованы с помощью каналов связи БШД, следует выделить следующие:

- 1) передача данных, VoIP, голоса, видео и телеметрии между портовым терминалом и судами в режиме реального времени;
- 2) сбор и передача информации о судне (идентификатор, координаты, курс, скорость, длина, осадка, класс судна), а также о грузе/экипаже;
- 3) информационно-развлекательная система для пассажиров.

Проанализируем объем трафика, который позволит спроектировать сеть и достичь компромисса между стоимостью сети и качеством предоставляемых слуг. Расчет необходимого трафика выполним согласно формуле (2) при условии максимальной нагрузки на сеть:

$$V = N \cdot U, \quad (2)$$

где U – скорость, Мбит/с, необходимая для выполнения услуги (исходя из табл. 2), N – число обслуживаемых устройств.

Для каждого типа услуги существует максимальная скорость (табл. 2).

Таблица 2

Параметры нагрузки для каждого класса услуг

Услуга	Максимальная скорость Мбит/с
VoIP	0,01
Видеонаблюдение	1
Internet	1
База данных	0,5
Файловый обмен	2,1

Согласно данным ФГУП «Росморпорт», в 2019 г. 94 187 судов находились в зоне действия СУДС Находка и 79 465 – СУДС Владивосток. Стоит отметить: маловероятно, чтобы такое большое количество абонентов одновременно потребовали обслуживания с максимальной скоростью. Поэтому ограничимся 100 обслуживаемыми устройствами в день с учетом сотрудников организации. На основе параметров табл. 2 выполним расчет трафика, создаваемого разными классами услуг, а также пропускной способности, полученной методом суммирования. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Трафик для каждого класса услуг

Услуга	Пропускная способность для услуги, Мбит/с	Суммарный трафик, Мбит/с
VoIP	1	461
Видеонаблюдение	100	
Internet	100	
База данных	50	
Файловый обмен	210	

Результаты расчета, проведенные при условии максимальной нагрузки на сеть, а также с учетом типа трафика, имеющегося в сети, показали, что суммарный объем трафика, необходимый для передачи данных, составляет 461 Мбит/с.

Проведенный анализ беспроводных технологий наглядно показал, что для удовлетворения потребностей судоходной отрасли приоритет имеет продукция компании InfiNet, так как предлагает решения, обеспечивающие необходимую производительность, надежную беспроводную связь с высокой степенью безопасности и возможностью управления качеством обслуживания (QoS). Таким образом, при реализации сети передачи данных будут применены новейшие технические решения на базе оборудования InfiNet, организующих связь по типу «точка–многоточка» как с фиксированными, так и с подвижными объектами. Использоваться будут модели с интегрированными и внешними секторными антеннами с широкой диаграммой направленности, поскольку сектор работает в режиме «точка–многоточка» и должен обеспечивать подключение фиксированных абонентов на определённой территории. В мобильных системах связи, в отличие от фиксированных, абоненты могут менять местоположение, поэтому диаграммы направленности клиентских устройств выбираются всенаправленными, с высоким усилением, тем самым позволяя организовать круговое покрытие на расстояниях до 25 км.

Техническое решение по повышению эксплуатационной надежности сети передачи данных СУДС залива Петра Великого

БШД сегодня – наиболее выгодное средство доставки услуг передачи данных абонентам, удалённым от опорной сети доступа к информационной инфраструктуре центра управления. Благодаря широким каналам связи появляется возможность пользоваться скоростными беспроводными сетями и отказаться от дорогостоящих спутниковых каналов. Кроме того, такая технология даёт возможность внедрить широкий спектр технических решений для разных видов деятельности в морских портах. Прежде всего это возможности для всех типов контроля и мониторинга, включая решения для оснащения объектов морского транспорта и акваторий инженерно-технической системы транспортной безопасности – передача радио- и видеоданных, телеметрии, данных координат при подходах судов и швартовке [5].

Перед тем как организовать радиоканал, необходимо сделать следующее.

1. Выполнить спектральное сканирование для визуализации радиочастотного спектра с целью найти и выбрать свободные от помех частотные каналы.
2. Выбрать подходящие места размещения оборудования связи, оценив наличие прямой видимости и приблизительные возможные параметры будущих линков.
3. Выбрать оборудование с учетом расстояния и требуемой пропускной способности.

На территории порта Владивосток и порта Находка действуют береговые РЛС, работа которых, как правило, осуществляется в узких частотных диапазонах порядка 2–4 и 8–12 ГГц, также основным средством взаимодействия между СУДС и судами является радиотелефонная связь в диапазоне между 156 и 174 МГц в зоне прямой радиовидимости. В этом диапазоне находится 57 частот, назначение и цель использования каждой из них определено Международными правилами. Кроме того, действует автоматическая идентификационная система (АИС) на двух выделенных каналах морской УКВ связи (частота 161,975 и 162,025 МГц), служащая для идентификации судов, их габаритов, текущих координат, курса, скорости движения и т.д.

Разместить базовые приемопередающие станции планируется максимально компактно, используя существующие антенно-мачтовые сооружения, что позволит снизить затраты на капитальное строительство.

Что касается технической части, то устройства компании InfiNet взаимодействуют друг с другом через протокол MINT (Mesh Interconnect Network Technology / Технология по-

строения сетей с произвольными связями) – собственный транспортный протокол, позволяющий эффективно решать задачи обеспечения связи с подвижными объектами.

Перечислим ключевые преимущества протокола MINT.

- Быстрое переключение между базовыми станциями за счет специального режима Multi BS, с помощью которого обеспечивается непрерывность сетевого подключения. То есть в случае резкого ухудшения качества текущего подключения (падение уровня сигнала до базовой станции – БС более чем на 30%) абонентский терминал может принудительно разорвать связь с текущей БС и начать поиск другой, обеспечивающей более качественное соединение. При этом абонентский терминал не пытается восстановить потерянное подключение к БС, а сразу стремится подключиться к другим БС.

- Резервирование и отказоустойчивость. Резервирование обеспечивается установкой не менее двух абонентских терминалов на подвижном объекте для возможности выбора наилучшего маршрута из двух или более беспроводных каналов связи. В случае если доступно несколько беспроводных каналов, данные будут отправляться по наиболее предпочтительному (с учётом значений сигнал/шум, пропускной способности, количества переповторов, времени задержки). Использование фирменной функции Global позволяет повысить отказоустойчивость опорной радиосети, однако в этом случае эффект будет достигнут только при соответствующем радиочастотном планировании, т.е. когда области покрытия секторов выполнены с перекрытием.

- Непрерывный мониторинг качества канала связи за счет использования коммутатора со встроенным протоколом MINT: InfiMUX. В этом случае устройство непрерывно отслеживает качественные показатели каждого канала связи по таким параметрам, как отношение сигнал/шум, пропускная способность, время задержки, количества переповторов. При этом решение о смене используемого маршрута принимается каждые 1–3 с в зависимости от настроек протокола MINT.

Так как имеются протяженные участки, потребуются внешние антенны с высоким коэффициентом усиления и радиоустройства с большой мощностью передачи. Компания InfiNet производит решения для организации канала «точка–многоточка» в частотных диапазонах 3, 5 и 6 ГГц. На основе анализа радиочастотного спектра целесообразно выбрать устройства диапазона 5 ГГц, так как в линейке оборудования InfiNet используются мощные радиомодули (до 500 мВт) и подобрать внешнюю антенну с высоким коэффициентом усиления не представляет трудности. На основании всего сказанного выше сценарий организации канала связи с морским транспортом по топологии «точка–многоточка» можно представить следующим образом.

1. *Судовой комплект оборудования.* Для обеспечения автоматической юстировки антенн при изменении положения корабля относительно БС на берегу будем использовать четыре секторные антенны с углом излучения 90°. Таким образом обеспечим круговое покрытие вокруг корабля и, соответственно, непрерывное отслеживание возможных соединений с БС, установленных на берегу, вне зависимости от местонахождения или направления движения судна.

В качестве абонентского терминала предлагается использовать комплект, состоящий из двух абонентских станций (АС) InfiMAN 2x2 R5000-Lmnc/5.300.2x300 с двумя внешними антеннами MA-WD55-17Н, подключенными на порт N-типа (рис. 3). Также стоит учитывать, что на воде наблюдается качка судна, в этом случае может использоваться устройство компенсации качки с гироскопическим принципом действия – для того, чтобы сохранять АС в одном положении относительно БС.

Устройства серии R5000 конструктивно состоят из двух блоков: внешнего (ODU) радиоблока и внутреннего (IDU) интерфейсного блока. Внешний и внутренний блоки соединяются между собой с помощью кабеля витая пара категории 5е, по которому передается трафик Ethernet и постоянное напряжение питания для ODU. Секторы АС подключены к

InfiMUX, который выполняет объединение устройств опорной радиосети в единую область MINT и осуществляет контроль качества связи и мгновенный выбор станции с наилучшими условиями приема при движении корабля. Судовой комплект предназначен обеспечивать устойчивую связь на расстоянии до 20 км от берега.

2. *Опорная сеть.* Базовые станции с секторными антеннами планируется разместить на территории порта и побережья Амурского залива для создания единой информационной сети морских администраций портов и их подразделений. Привязка к существующей проводной транспортной сети порта осуществляется через имеющиеся оптические линии связи. Ввиду сложного рельефа местности на каждом РТП устанавливается от 4 до 6 секторов базовых станций для обеспечения гарантированной зоны покрытия. Так, для пролета длиной более 40 км планируется использовать базовые станции InfiMAN 2x2 R5000-Mmxbs/5.300.2x500.2x16 со встроенной двухполяризационной антенной, с производительностью до 240 Мбит/с на сектор, а для пролета менее 20 км – InfiMAN 2x2 R5000-Qmxb/5.300.2x300.2x21 (см. типовую схему 5-секторной БС на рис. 4).

Центральный узел связи будет располагаться в центрах СУДС Владивосток и Находка, который представляет собой специализированный сервер с установленной программой InfiMonitor и коммутатор InfiMUX6G-H09, выполняющий роль контроллера сети. Таким образом система, оборудованная подсистемами мониторинга, диагностики и автоматического восстановления работоспособности, позволит обеспечивать непрерывный контроль за всеми элементами сети и переключение движущихся объектов между БС.

Рис. 3. Судовой комплект.

Рис. 4. Типовая схема 5-секторной БС.

Поскольку в приоритете – надежность канала связи, то планировать сеть будем так, чтобы было небольшое перекрытие зон действия БС. Это даст возможность осуществлять бесшовный роуминг абонентских станций (АС) между секторами при движении в рамках ограниченной территории. Чтобы снизить интерференционное влияние между секторами БС, будет использовано два частотных канала, поскольку положение в случае четырех секторов выбрано таким, что диаграммы направленности БС1 и БС3, БС2 и БС4 попарно не пересекаются, то они не будут интерферировать друг с другом. Это позволит оптимизировать используемый частотный ресурс. Также для корректной работы нескольких секторов в одной зоне необходимо часть радиочастотного ресурса выделить под защитный интервал. Радиоканал устанавливается между двумя устройствами при настройке секторов БС как ведущих, а АС – как ведомых. На устройствах с ролью «ведущий» настраивается только один набор радиопа-

раметров, который будет использоваться для организации каналов связи. На устройствах с ролью «ведомый» создается либо несколько радиопрофилей, либо один – с возможностью автоматического выбора частоты. Также одним из факторов, влияющих на параметры канала связи с подвижным объектом, является степень актуальности таблицы перенаправления кадров MINT. Для этого в конфигурации устройств устанавливаем интервал обновления записей таблицы перенаправления MINT, выбрав режим *nomadic*, с помощью которого обновление таблицы перенаправления выполняется с интервалом 1,5 с. На рис. 5 приведена спланированная нами схема размещения секторов БС на акватории залива Петра Великого.

Рис. 5. Спланированная авторами схема сети беспроводного радиодоступа в зоне залива Петра Великого.

Выводы

Итак, мы рассмотрели организацию сети БШД на основе технологии компании InfiNet для обеспечения безопасности мореплавания в акватории залива Петра Великого. Предложенное решение позволит обеспечить связью все основные участки работы и маршруты движения судов на территории портов Владивосток и Находка. Выбранная топология сети БШД «точка–многоточка» состоит из опорной сети, представляющей собой 55 секторов базовых станций InfiMAN 2x2 R5000-Mmxb/5.300.2x500.2x16 и InfiMAN 2x2 R5000-Qmxb/5.300.2x300.2x21 (в зависимости от протяженности пролета), размещенных в 12 точках, и мобильных абонентских терминалов InfiMAN 2x2 R5000-Lmnc/5.300.2x300 с двумя внешними антеннами MA-WD55-17H, которые позволяют обеспечивать устойчивую связь на расстоянии более 20 км от берега. Исследование показало, что подобная современная технологическая сеть радиосвязи даст возможность судам в акватории залива Петра Великого осуществлять передачу данных, видео, VoIP на большом расстоянии от берега в движении, поэтому вполне возможно провести модернизацию радиорелейной линии связи на рассмотренном морском участке.

Область дальнейшего исследования связана с моделированием мультисервисной сети связи на основе предложенного решения. Для данной задачи возможно использование модели Longley-Rice, реализованной в открытом программном продукте RadioMobail. Это позволит нам провести подробный анализ параметров сигнала при перемещении абонентского терминала по заданному маршруту, с учетом влияния топографических особенностей рассматриваемой территории. Следует подчеркнуть, что основной проблемой при планировании каналов передачи данных является прогнозирование и распределение нагрузки на сеть. Это очень важный и трудоемкий процесс, поэтому более подробно расчет требований к производительности канала будет рассмотрен в рамках дальнейшей работы.

Вклад авторов в статью: И.С. Скварник – расчет профилей радиорелейных пролетов, сравнение технологий беспроводной передачи данных, О.И. Совкова – расчет объема трафика, планирование беспроводного канала связи и его оценка, Л.Г. Стаценко – постановка задачи исследования и анализ полученных результатов, общенаучное руководство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондур В.Г., Доброзраков А.Д., Курекин А.С., Курекин А.А., Пичугин А.П., Яцевич С.Е. Рассеяние радиоволн морской поверхностью при бистатической локации // Исследование Земли из космоса. 2009. № 6. С. 3–15.
2. Бузенков И.И., Редькин Ю.В., Тюфанова А.А. Моделирование зон действия покрытия УКВ радиосвязью системы управления движением судов Керченского пролива // Эксплуатация морского транспорта. 2019. № 4(93). С. 162–171.
3. В крупных морских портах появился высокоскоростной и надежный широкополосный доступ к Интернет-ресурсам. Any-Port, Франция. URL: <https://infinet.ru/success-stories/-fast-and-reliable-broadband-access-in-major-seaports> (дата обращения: 04.04.2020).
4. Головченко Б.С., Гриняк В.М. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории // Вестник Гос. ун-та морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2014. № 2(24). С. 156–162. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-2-156-162
5. Губернаторов С.С. Навигация будущего – стратегическая программа e-Navigation // Морской и речной транспорт. 2014. № 8. С. 52–56.
6. Ерёмка В.Д., Кабанов В.А., Логвинов Ю.Ф., Мыщенко И.М., Разказовский В.Б., Роевко А.Н. Особенности распространения радиоволн над морской поверхностью. Севастополь: Вебер, 2013. 217 с.
7. 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 (зарегистрировано в Минюсте РФ 28.10.2015 № 39517).
8. Рекомендация МСЭ–R P.530–13 (10/2009). Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости. Серия Р. ИТУ Женева, 2010. 50 с.
9. Скварник И.С., Совкова О.И., Стаценко Л.Г., Турмов Г.П. Технологии беспроводного широкополосного доступа: оценка возможности применения для управления движением судов // Вестник Инженерной школы Дальневост. федерал. ун-та. 2019. № 4(41). С. 113–124. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-12>
10. Справочник по распространению земных волн – ИТУ Бюро радиосвязи. Женева, 2014. 66 с.
11. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года. Одобрена на заседании членов Морской коллегии при Правительстве Российской Федерации 28 сентября 2012 года. URL: <https://bazanpa.ru/pravitelstvo-rf-strategiia-ot28092012-h2949632/> (дата обращения: 04.04.2020).
12. Chunxia Liu, Ermin Lin, Lisha Cai, Guo Huang. The Challenges and Key Technologies of Wireless Transmission and Mobile Networking in Near Maritime Environment. IOP Conference Series *Materials Science and Engineering*, 2018, 1–7 p.
13. LTE Police Communication Keeps River Safe. URL: https://e.huawei.com/uk/case-studies/global/older/hw_314635 – 04.04.2020.
14. Paulo Monica et al. TEC4SEA – A Modular Platform for Research, Test and Validation of Technologies Supporting a Sustainable Blue Economy. Proc. of OCEANS’14, St. John’s, Canada, Sep. 2014. DOI: 10.1109/OCEANS.2014.7003109
15. Sung-Woong Jo, Woo-Seong Shim. LTE-Maritime: High-Speed Maritime Wireless Communication Based on LTE Technology. Marine Safety and Environmental Research Department, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO), South Korea. IEEE Access. 22 April 2019, 53172–53181 p.

16. Terje Roste, Kun Yang. Coastal Coverage for Maritime Broadband Communications. Norwegian University of Science and Technology NO – 7491. Trondheim, Norway. June 2013, 1–8 p.
17. Zahir Zainuddin, Wardi, Yurika Nantan. Applying Maritime Wireless Communication to Support Vessel Monitoring. Hasanuddin University, Gowa, Indonesia. 2017 4th Intern. Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE). 18–19 Oct. 2017, 158–161 p.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2020. N 3/44

Physical Fields of Ship, Ocean and Atmosphere

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-3-11>

Statsenko L., Sovkova O., Skvarnik I.

LUBOV STATSENKO, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,

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

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

OLGA SOVKOVA, MS Student, e-mail: sovkova.olga@inbox.ru

Politechnical Institute

IGOR SKVARNIK, Postgraduate, e-mail: iskv@lemz-dv.ru

Far Eastern Federal University

Vladivostok, Russia

Analysis of the possibilities of wireless broadband access technologies to ensure safety of navigation in Peter the Great Gulf

Abstract: The vessel traffic service (VTS) is a complex set of stationary technical facilities of the coastal services, which together form a unified maritime safety system, which provides for the collection and processing of information on the navigational situation in order to carry out operational control over the movement of ships within the boundaries of the area of responsibility. An important component of the VTS of Peter the Great Gulf is the communication and data transmission network (CDTN), which provides information on the navigation situation from radio-technical posts to the control centers of the VTS. At the same time, analysis of interaction of radio waves with the sea surface shows that the radio signal is reflected from the water surface, as a result of which, due to interference from direct and reflected rays, intersymbol interference and fading effects are observed. Therefore, in order for the data transmission network to remain effective and secure its prospects for the subsequent development of the marine industry in accordance with the requirements of the time, a modern solution is needed. This article discusses the use of wireless broadband access technology in CDTN VTS using equipment based on InfiNet proprietary technology, which made it possible to find the optimal balance between throughput and network coverage range.

Keywords: wireless broadband technology, maritime safety, InfiNet, radiorelay link.

REFERENCES

1. Bondur V.G., Dobrozrakov A.D., Kurekin A.S., Kurekin A.A., Pichugin A.P., Yatsevich S.Ye. Radio Skattering by the Sea Surface During Bistatic Location. *Earth Observation and Remote Sensing*. 2009(6):3–15.
2. Buzenkov I.I., Redkin Y.V., Tyufanova A.A. Modeling of VHF radiocommunication coverage zones of vessels traffic service of Kerchen straight. *Ekspluatatsiya morskogo transporta*. 2019(93):162–171.
3. Fast and reliable broadband access in major seaports. Any-Port, France. URL: <https://infinet.ru/success-stories/-fast-and-reliable-broadband-access-in-major-seaports> – 04.04.2020.
4. Golovchenko B.S., Grinyak V.M. Information system for vessels traffic data capture. *Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo i Rechnogo Flota Imeni Admirala S.O. Makarova*. 2014(24):156–162. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-2-156-162

5. Gubernatorov S.S. Future Navigation – Strategic Program e-Navigation. Sea and River Transport. 2014(8):52–56.
6. Eremka V.D., Kabanov V.A., Logvinov Yu.F., Mytsenko I.M., Razkazovsky V.B., Roenko A.N. Features of the propagation of radio waves over the sea surface. Sevastopol, Weber, 2013, 217 p.
7. 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.
8. Rec. ITU-R P.530-13 (10/2009). Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems. Series P. ITU Geneva, 2010, 50 p.
9. Skvarnik I., Sovkova O., Statsenko L., Turmov G. Wireless broadband technologies: assessment of the applicability in vessel traffic management system. FEFU: School of Engineering Bulletin. 2019(41):113–124. DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-4-12>
10. Handbook on ground wave propagation. ITU Radiocommunication Bureau. Geneva, 2014, 66 c.
11. Draft Strategy on the Development of Russian Seaport Infrastructure till 2030. Approved by the Maritime Collegium at the Russian Government. 28 Sept. 2012. URL: <https://bazan-pa.ru/pravitelstvo-rf-strategiia-ot28092012-h2949632/> – 04.04.2020.
12. Chunxia Liu, Ermin Lin, Lisha Cai, Guo Huang. The Challenges and Key Technologies of Wireless Transmission and Mobile Networking in Near Maritime Environment. IOP Conference Series *Materials Science and Engineering*, 2018, 1–7 p.
13. LTE Police Communication Keeps River Safe. URL: https://e.huawei.com/uk/case-studies/global/older/hw_314635 – 04.04.2020.
14. Paulo Monica et al., TEC4SEA – A Modular Platform for Research, Test and Validation of Technologies Supporting a Sustainable Blue Economy. Proc. of OCEANS’14, St. John’s, Canada, Sep. 2014. DOI: 10.1109/OCEANS.2014.7003109
15. Sung-Woong Jo, Woo-Seong Shim. LTE-Maritime: High-Speed Maritime Wireless Communication Based on LTE Technology. Marine Safety and Environmental Research Department, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO), South Korea. IEEE Access. 22 April 2019, 53172–53181 p.
16. Terje Roste, Kun Yang. Coastal Coverage for Maritime Broadband Communications. Norwegian University of Science and Technology NO – 7491. Trondheim, Norway. June 2013, 1–8 p.
17. Zahir Zainuddin, Wardi, Yurika Nantan. Applying Maritime Wireless Communication to Support Vessel Monitoring. Hasanuddin University, Gowa, Indonesia. 2017 4th Intern. Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE). 18–19 Oct. 2017, 158–161 p.