

На правах рукописи



Скварник Игорь Святославович

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОГО
ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА В СЕТЯХ СВЯЗИ И
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ**

Специальность 05.08.06 Физические поля корабля, океана,
атмосферы и их взаимодействие

АВТОРЕФЕРЕТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владивосток - 2021

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ).

Научный руководитель: **Стаценко Любовь Григорьевна**, доктор физико-математических наук, профессор, профессор департамента электроники, телекоммуникаций и приборостроения Политехнического института (Школы) ФГАОУ ВО «ДВФУ».

Официальные оппоненты: **Федосов Валентин Петрович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теоретических основ радиотехники Института радиотехнических систем и управления ФГАОУ ВО «ЮФУ»

Сучков Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры радиоэлектроники и радиосвязи Тихоокеанского высшего военно-морского училища имени С.О. Макарова;

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского».

Защита состоится «17» января 2022 г. в 11:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.056.17 по адресу: 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ, корпус В, уровень 7, зал «Сопка».

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «ДВФУ» по адресу: 690090, г. Владивосток, ул. Алеутская, 65-б или на официальном сайте <https://www.dvfu.ru>

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба отправлять по адресу: 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.056.17.

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Врио ученого секретаря
Диссертационного совета
Д212.056.17
доктор физико-математических
наук, профессор



Короченцев В. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Морской транспорт является одним из основных видов путей сообщения. На его долю приходится 62% мирового грузооборота и около 80% обслуживания всей международной торговли. Несмотря на поступательное развитие морской отрасли, существующая аварийность на морском транспорте в РФ остается высокой. За период с 2015 по 2021 год произошло более 500 аварий, при этом 43% инцидентов случились в зонах действия систем управления движением судов (СУДС) – морских портах, каналах и проливах. В следствие этого, повышение безопасности мореплавания является одним из важнейших положений «Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года».

На безопасность и эффективность функционирования морского транспорта РФ большое влияние оказывает техническая оснащенность береговых служб и систем, одной из которых является СУДС. Она осуществляет информационное обеспечение морских судов, береговых служб и центров управления (ЦУ) движением судов в целях принятия управленческих решений и предотвращения ошибок в судовождении.

Одним из базовых компонентов СУДС является сеть связи и передачи данных (ССПД). Она осуществляет передачу информации о надводной обстановке с удаленных объектов – радиотехнических постов (РТП), в ЦУ для обеспечения судовождения. ССПД СУДС строятся, в основном, на базе радиорелейных линий (РРЛ). В следствие их расположения на побережье, передаваемые радиосигналы оказываются подвержены влиянию подстилающей морской поверхности, что приводит к интерференции радиоволн и замираниям сигнала в точке приема. Следствием этого является снижение качественных характеристик каналов связи ССПД СУДС и предоставляемых ею услуг по управлению движением судов, что негативно сказывается на безопасности мореплавания.

Анализ функционирования ССПД СУДС на базе РРЛ показывает, что им присущи и другие недостатки, которые снижают эффективность функционирования системы информационного обеспечения СУДС. Эти недостатки обусловлены, с одной стороны, линейной топологией построения ССПД, а с другой – используемой технологией передачи данных, которая не обеспечивает передачу

больших объемов информации органам управления судовождением в реальном масштабе времени.

Одним из перспективных направлений повышения безопасности мореплавания является создание единого информационного пространства для систем и служб, обеспечивающих судовождение, которое рассматривается в рамках концепции e-Навигации, разработанной Международной морской организацией (ИМО – International Maritime Organization).

Важнейшим содержанием единого информационного пространства является непрерывный обмен данными об обстановке между различными службами и системами, обеспечивающими судовождение. Это повысит ситуационную осведомленность органов управления и снизит ошибки восприятия обстановки, и, как следствие, позволит поднять уровень безопасности мореплавания.

Для организации непрерывного обмена данными о надводной обстановке необходимо внедрение новых информационных технологий, обеспечивающих качественный рост функциональных возможностей систем связи и увеличение их эффективности по критерию результат/стоимость.

В области применения новых информационных технологий для систем морской связи наиболее известными исследователями являются российские ученые А.А. Шаповалов, Ю.Н. Андрущечкин, В.В. Каретников, О.Н. Пищин, И.В. Юрин, Е.А. Глушенко, Л.Ф. Борисова, Ю.И. Базаров, А.Л. Боран-Кенишьян, а также ряд зарубежных ученых: Abdelmoula Ait Allal, Khalifa Mansouri, Chunxia Liu, Ermin Lin, Dae-Seung Yoo, Hyung-Joo Kim, Ming-Tuo Zhou и другие.

Перспективной информационной технологией, способной обеспечить высокие требования по безопасности мореплавания, является беспроводной широкополосный доступ (БШД). Исследование целесообразности его применения в ССПД СУДС с целью повышения безопасности мореплавания является актуальной задачей.

Основной целью работы является исследование и разработка технологии применения БШД в ССПД СУДС.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решены следующие **задачи**:

- проведен анализ функционирования существующей ССПД СУДС (на примере ССПД СУДС Владивосток);
- проведены исследования влияния параметров морской поверхности на качество радиотрасс ССПД СУДС Владивосток;
- разработана математическая модель расчета радиотрасс ССПД СУДС Владивосток с учетом влияния подстилающей морской поверхности;
- разработана технология применения БШД в ССПД СУДС над морской поверхностью.

Научная новизна диссертационной работы заключается:

- в новой структуре ССПД СУДС, построенной на базе БШД;
- в технологии применения БШД в ССПД СУДС;
- в учете влияния подстилающей морской поверхности при расчете радиотрасс ССПД СУДС.

Теоретическая значимость научных результатов заключается в разработке нового метода расчета радиотрасс с учетом влияния на них подстилающей морской поверхности.

Практическая ценность работы заключается в повышении безопасности и эффективности мореплавания за счет совершенствования ССПД СУДС. Полученные выводы и рекомендации могут быть использованы при построении качественно новых ССПД СУДС, отвечающих требованиям концепции e-Навигации.

Методология и методы исследования. Научные результаты, выводы и рекомендации, полученные по итогам проведенного исследования, основаны на применении методов теории распространения радиоволн, теории построения инфокоммуникационных сетей, программирования, инженерного анализа с использованием численного и имитационного моделирования на основе методик Международного союза электросвязи (ITU – International Telecommunication Union). Гидрометеорологические данные параметров морской поверхности получены с помощью глобальной модели атмосферы ICON (Icosahedral Nonhydrostatic) и гидродинамической модели SWAN (Simulating waves nearshore), соответствующим стандартам Всемирной метеорологической организации (WMO – World Meteorological Organization).

Положения, выносимые на защиту:

- алгоритм применения БШД в ССПД СУДС;
- структура ССПД СУДС Владивосток на основе БШД;
- математическая модель расчета радиотрасс ССПД СУДС над морской поверхностью;
- результаты моделирования влияния подстилающей морской поверхности на распространение радиоволн.

Достоверность полученных научных результатов обусловлена применением адекватного математического аппарата, подтверждается их согласованностью с результатами проведенного моделирования и сопоставлением полученных результатов с научными данными, известными из российской и зарубежной литературы.

Использование результатов исследований.

- Работа поддержана Федеральным государственным бюджетным учреждением «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» в рамках договора № 12502ГУ/2017 от 12 апреля 2018 г. о предоставлении гранта на выполнение научно-исследовательских работ, г. Владивосток, 2018.

- Результаты работы использовались при обосновании путей создания интеллектуальных систем поиска и семантического анализа неструктурированной информации в распределенных автоматизированных системах в рамках НИР «Провидец-2050-ИНЭУМ» ПАО «ИНЭУМ им. И.С. Брука».

- Результаты работы использовались при модернизации ССПД СУДС Владивосток Дальневосточного бассейнового филиала ФГУП «Росморпорт».

Апробация. Основные результаты диссертации докладывались и представлялись в материалах следующих конференций: молодежная конкурс-конференция «Оптические и информационные технологии», г. Новосибирск, (2018); международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям «FarEastCon», г. Владивосток, (2018, 2019 гг); II всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований», г. Комсомольск-на-Амуре, (2019); всероссийская молодежная научная конференция, посвященная дню радио «Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития», г. Тамбов, (2019, 2020 гг), а также на

научных семинарах Департамента электроники, телекоммуникаций и приборостроения Политехнического института (Школы) ДВФУ и ФГУП «Росморпорт».

Публикации. По результатам исследований опубликованы 12 работ, в том числе 5 статей в журналах из перечня ВАК; 2 публикации в изданиях, входящих в базу данных Scopus; патент на изобретение и патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. В состав диссертации входят введение, 4 главы, заключение, список литературы из 160 наименований, приложения на 24 страницах. Объем диссертации с приложениями – 196 страниц, в том числе 60 рисунков и 14 таблиц.

Личный вклад автора состоит в решении поставленной задачи; оценке функциональных возможностей ССПД СУДС (на примере ССПД СУДС Владивосток); созданию математической модели расчета радиотрасс ССПД СУДС с учетом влияния морской подстилающей поверхности; совершенствованию структуры ССПД СУДС Владивосток; разработке метода применения технологии БШД в ССПД СУДС над морской поверхностью и подготовке основных выводов, результатов численных исследований и практических рекомендаций.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены объект, предмет и цель исследования, изложены основные научные результаты, представленные к защите, дана оценка новизны, достоверности, практической ценности и теоретической значимости, приведены структура и содержание работы, а также данные по ее апробации и практическому применению.

Первая глава содержит описание назначения, состава и решаемых задач ССПД СУДС. Также проведен анализ научных работ и экспериментов по применению новых информационных технологий в системах морской связи. Исследования по данной тематике активно проводятся в странах Юго-Восточной Азии, Европы и Северной Америки.

Так, на территории Республики Корея ведутся работы по внедрению проекта LTE-Maritime; учеными из Норвегии разработана концепция ССПД WiCAN; исследователи из США предложили автономную морскую беспроводную ячеистую сеть; инженеры из

Марокко разработали технологию мобильного WiMax; в Индии ведутся работы по созданию сети морской связи MICRONET. Из отечественных работ стоит отметить эксперимент по модернизации сети радиосвязи в акватории Финского залива. Данные проекты основаны на внедрении технологии беспроводной широкополосной связи в системы морской связи.

На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что новые информационные технологии эффективно применяются в системах морской связи и могут быть рассмотрены для применения в ССПД СУДС с целью повышения качества предоставляемых услуг судовождения.

Во второй главе отражено функционирование СУДС Владивосток, рассмотрены её структура (рисунок 1) и зона действия; проведен анализ состава, топологии и технологии передачи данных ССПД СУДС Владивосток, а также особенностей распространения радиоволн над морской поверхностью, на основании чего выявлен ряд недостатков, снижающих эффективность работы ССПД и ограничивающих возможности её развития. Для этого произведены расчеты профилей радиотрасс и проанализирована пропускная способность ССПД СУДС Владивосток; рассмотрено перспективное направление развития ССПД СУДС Владивосток.

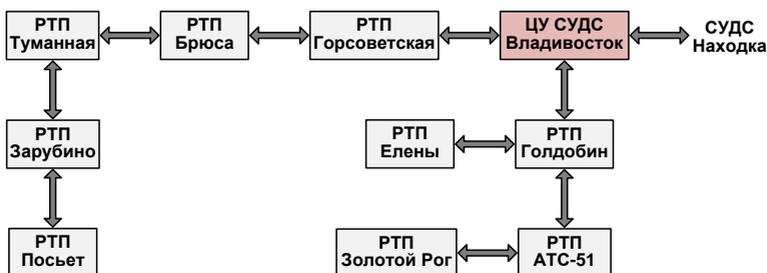


Рисунок 1 – Структура СУДС Владивосток

Топология ССПД СУДС Владивосток имеет линейный порядок построения (рисунок 2), что негативно отражается на эффективности функционирования сети и приводит к нерациональному использованию канального ресурса и снижению пропускной способности.

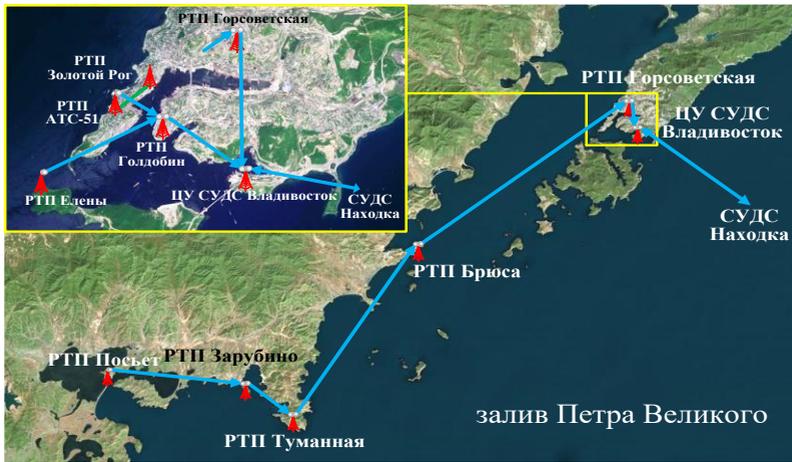


Рисунок 2 – Топология ССПД СУДС Владивосток

С помощью специализированного программного комплекса (ПК) «Альбатрос-Территория» (ЗАО «Информационный Космический Центр «Северная корона», г. Санкт-Петербург) построено и проанализировано 9 профилей радиотрасс ССПД СУДС Владивосток. На 3 из них установлено наличие отражений радиоволн от морской поверхности. В качестве примера на рисунке 3 приведен профиль интервала РТП Брюса-РТП Горсоветская.

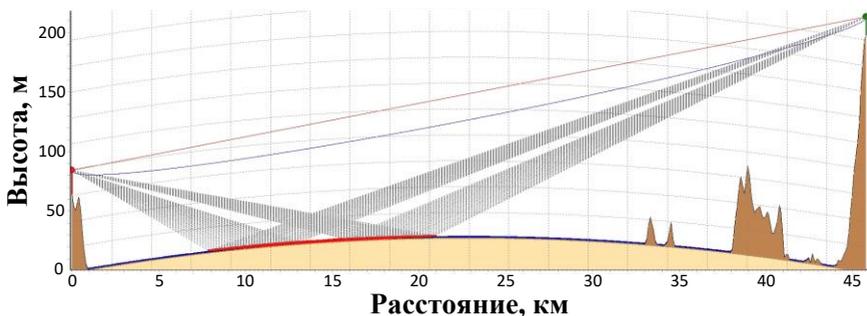


Рисунок 3 – Профиль интервала РТП Брюса-РТП Горсоветская

Результаты проведенного нами анализа радиотрасс ССПД СУДС Владивосток приведены в таблице 1, где «SESR» – коэффициент секунд, характеризующий период со значительным количеством

ошибок, а «Кнг» – отношение длительности периода неработоспособности канала связи, вызванной отказом аппаратуры или неблагоприятным воздействием среды распространения, к общему времени наблюдения.

Таблица 1 – Результат анализа радиотрасс ССПД СУДС Владивосток

Трасса	Длина, км	SESR, %	Кнг, %	Ослабление, дБ	Входная мощность, дБм	Энергетический запас, дБ	Участок отражений, км
Посьет-Зарубино	24,159	0,013685	0,00039	137,8	-43,6	23,4	6,04
Зарубино-Туманная	9,438	0,000572	0,00039	129,3	-47,1	19,9	нет
Туманная-Брюса	40,461	0,147253	0,00039	142,6	-48,4	18,6	11,646
Брюса-Горсоветская	45,772	0,11069	0,00039	143,8	-41,6	25,4	13,250
Горсоветская-ЦУ СУДС	5,817	$1,64 \cdot 10^{-7}$	0,00039	123,4	-30,4	41,6	нет
ЦУ СУДС-Голдобин	3,740	$1,45 \cdot 10^{-5}$	0,00275	129,7	-45,7	23,3	нет
Голдобин-АТС-51	2,107	$6,17 \cdot 10^{-9}$	0,00039	124,4	-27,4	55,6	нет
Голдобин-Елены	5,177	$1,29 \cdot 10^{-6}$	0,00055	132,8	-35,8	45,2	нет

Выявленные отражения от морской поверхности приводят к интерференции прямых и отраженных волн в точке приема, в следствие чего возникают замирания и межсимвольная интерференция (МСИ). Это является одним из основных дестабилизирующих факторов, который снижает производительность и качественные характеристики каналов связи ССПД СУДС Владивосток, что необходимо учитывать при построении ССПД СУДС.

Необходимость увеличения скорости передачи данных в сети обусловлена ростом объема информации, передаваемой по ССПД СУДС Владивосток, которая, в свою очередь вытекает из необходимости:

- резервирования радиолокационной информации;

- передачи информации видеонаблюдения за судами в реальном масштабе времени;
- передачи информации с систем охранного видеонаблюдения за удаленными объектами СУДС;
- увеличения каналов телефонной связи АТС;
- организации обмена информацией с взаимодействующими органами управления;
- увеличения объема передаваемой информации в направлении корабль-берег;
- организации локальной вычислительной сети (ЛВС) с удаленными объектами СУДС.

Результаты анализа пропускной способности каналов ССПД СУДС Владивосток, проведенного нами на основе технической документации Дальневосточного бассейнового филиала ФГУП «Росморпорт» отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные параметры РРЛ ССПД СУДС Владивосток

	Максимальная скорость, Мбит/с	Фактическая скорость, Мбит/с	Требуемая скорость, Мбит/с	Использование ресурса радиотрассы, %
Посьет-Зарубино	16	5,3	11,3	71
Зарубино-Туманная	32	16,5	28,5	89
Туманная-Брюса	32	17,3	29,3	92
Брюса-Горсоветская	32	23	40,2	Недостаток ресурса
Горсоветская-ЦУ СУДС	155	23,5	40,7	26
Елены-Голдобин	8	8	36,2	Недостаток ресурса
АТС-51-Голдобин	155	106,1	328,3	Недостаток ресурса
Голдобин-ЦУ СУДС	155	63,1	251,1	Недостаток ресурса

По результатам анализа сделаны следующие выводы:

- ССПД СУДС Владивосток на базе РРС присущ ряд недостатков, которые снижают эффективность ее функционирования;

- наличие отражений от морской поверхности на радиотрассах ССПД СУДС Владивосток является одним из основных дестабилизирующих факторов, который снижает производительность и качественные характеристики каналов связи ССПД;

- имеющаяся пропускная способность ССПД недостаточна для совершенствования качества информационного обеспечения ЦУ СУДС Владивосток и обеспечения его дальнейшего развития.

Перспективное развитие ССПД СУДС в рамках концепции e-Навигации заключается во внедрении новых информационных технологий, способных обеспечить интеграцию обслуживающих судовождение служб и систем в единое информационное пространство. Для оценки степени влияния отражений от морской поверхности на качество каналов связи ССПД СУДС Владивосток необходимо учитывать параметры подстилающей морской поверхности в соответствии с разработанной математической моделью.

В третьей главе проведено исследование параметров подстилающей морской поверхности на радиотрассах ССПД СУДС Владивосток, разработана математическая модель расчета радиотрасс с учетом влияния на них подстилающей морской поверхности и получены результаты моделирования распространения радиосигналов над морем на примере ССПД СУДС Владивосток.

На интервалах ССПД СУДС Владивосток в основном используется сантиметровый диапазон электромагнитных волн, поэтому подстилающая морская поверхность является для них «шероховатой», что обуславливает диффузное отражение радиоволн в соответствии с критерием Релея, связывающим такие параметры как высота неровностей, длина радиоволны и угол скольжения.

Критерий Релея носит приближенный характер, поскольку не учитывает форму морской поверхности (высоту, длину и направление распространения волн относительно радиотрассы).

Для оценки параметров морских волн использована гидродинамическая модель SWAN. Исходные данные для модели SWAN получены с помощью глобальной модели атмосферы ICON.

Состояние морской поверхности на радиотрассах ССПД СУДС Владивосток оценивалось по следующим параметрам – высоте, периоду и направлению вынужденных и свободных волн.

Оценка значений вышеприведенных параметров морской поверхности проводилась каждый день с 01:00 до 22:00 (с интервалом 3 часа) 2020 года. Распространение морских волн оценивалось по восьми направлениям – северному (С), северо-восточному (СВ), восточному (В), юго-восточному (ЮВ), южному (Ю), юго-западному (ЮЗ), западному (З) и северо-западному (СЗ).

На основании статистической обработки параметров морских волн для радиотрасс ССПД СУДС Владивосток были построены соответствующие гистограммы и интегральные функции распределения высот, длин (рисунок 4) и направлений (рисунок 5) вынужденных и свободных морских волн.

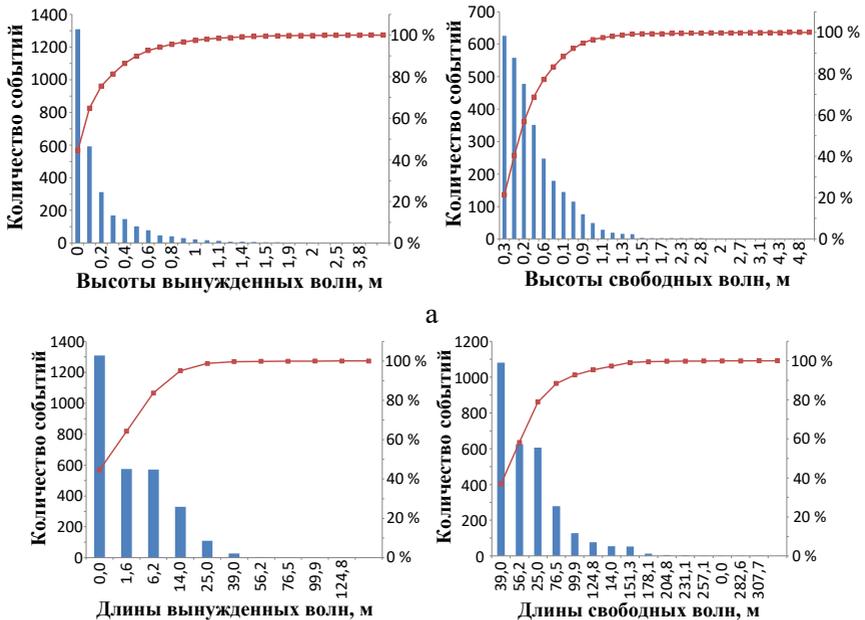


Рисунок 4 – Высоты (а) и длины (б) морских волн за 2020 год

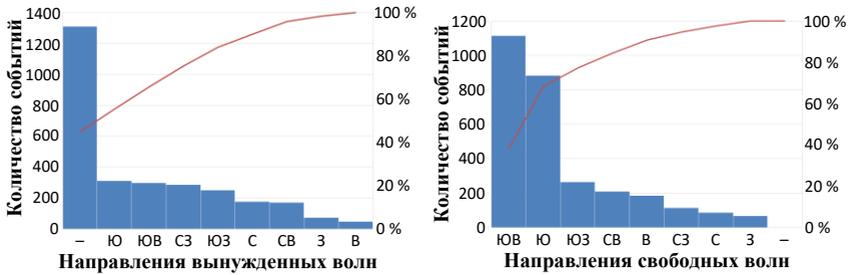


Рисунок 5 – Направления морских волн за 2020 год

Анализ параметров подстилающей морской поверхности позволяет сделать следующие выводы (таблица 3):

- значения высот и длин вынужденных волн зависят от времени года и в осенне-зимний период они наиболее значительные;

- значения высот свободных волн зависят от времени года и в весенне-летне-осенний период они наиболее значительные за счет преобладания в этот период волнений южных и юго-восточных направлений;

- в каждом сезоне наиболее вероятны волнения направлений, перпендикулярных радиотрассе (СЗ, ЮВ), формирующие зеркальную отражающую поверхность.

Таблица 3 – Значения параметров морской поверхности

	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Наиболее вероятные высоты вынужденных волн, м	0 / 0,1	0 / 0,1	0 / 0,1	0 / 0,1	0 / 0,1
Наиболее вероятные длины вынужденных волн, м	0 / 6,2 / 1,6	0 / 1,6	0 / 1,6	0 / 6,2	0 / 1,6 / 6,2
Наиболее вероятные высоты свободных волн, м	0,2 / 0,3	0,4 / 0,3	0,4 / 0,3	0,3 / 0,2	0,3 / 0,4
Наиболее вероятные длины свободных волн, м	39 / 25	39 / 56,2	39 / 25	39 / 56,2	39 / 56,2
Наиболее вероятные направления вынужденных волн	- / СЗ	- / СЗ	- / ЮВ	- / ЮЗ	- / Ю
Наиболее вероятные направления свободных волн	ЮВ / ЮЗ	Ю / ЮВ	ЮВ / Ю	ЮВ / Ю	ЮВ / Ю

На базе полученных распределений (рисунки 4, 5) разработана модель расчета радиотрасс ССПД СУДС, учитывающая влияние подстилающей морской поверхности, она реализована с помощью высокоуровневого языка программирования Python по алгоритму, представленному на рисунке 6.

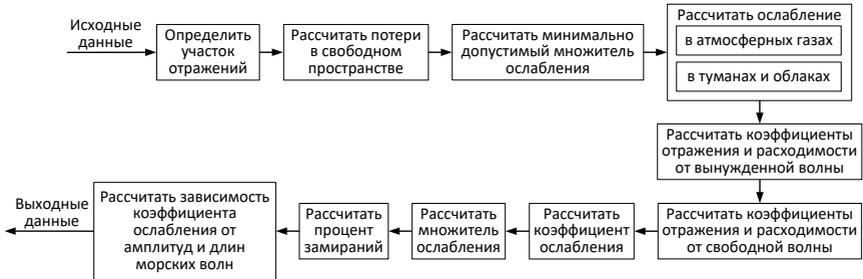


Рисунок 6 – Алгоритм расчета морских радиотрасс

При анализе годовой статистики параметров морской поверхности на радиотрассах ССПД СУДС Владивосток получены зависимости коэффициента ослабления от амплитуд и эквивалентных длин вынужденных (рисунки 7, 8) и свободных (рисунки 9, 10) морских волн исследуемых направлений. В качестве примера приведены графики только для наиболее характерных направлений для данного региона. Зеленым цветом выделены области наиболее вероятных значений амплитуд и длин волн.

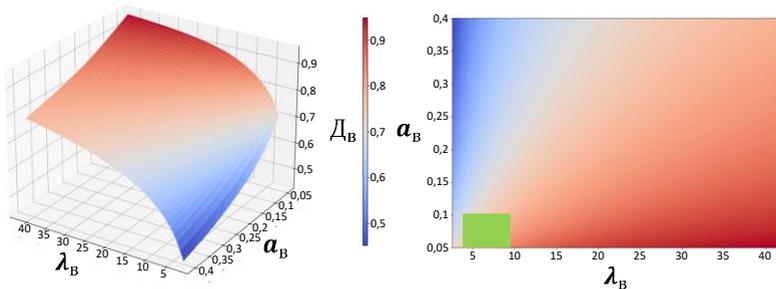


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента ослабления от амплитуд и эквивалентных длин вынужденных морских волн северных и южных направлений

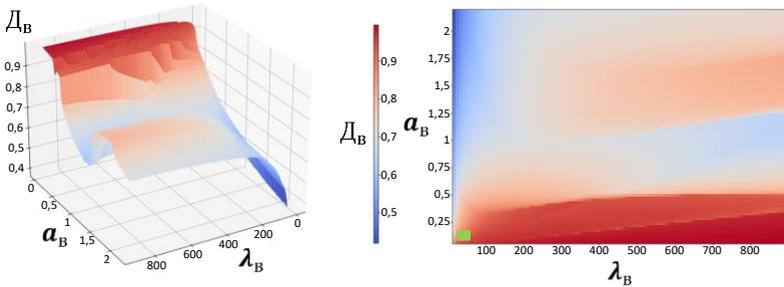


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента ослабления от амплитуд и эквивалентных длин вынужденных морских волн северо-западных и юго-восточных направлений

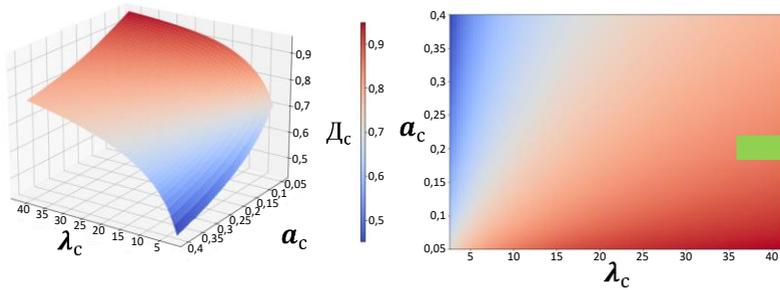


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента ослабления от амплитуд и эквивалентных длин свободных морских волн северных и южных направлений

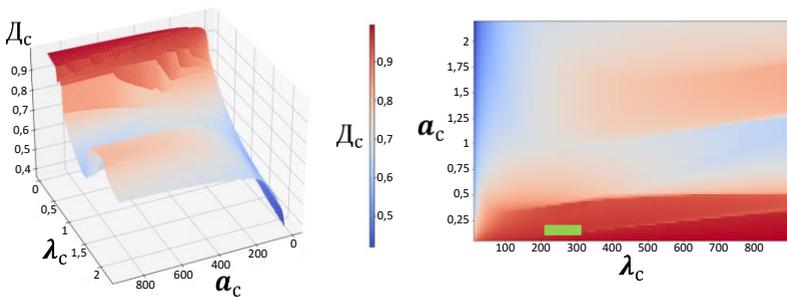


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента ослабления от амплитуд и эквивалентных длин свободных морских волн северо-западных и юго-восточных направлений

Вышеприведенные графики, построенные на основе данных параметров морской поверхности на радиотрассе РТП Брюса-РТП Горсоветская ССПД СУДС Владивосток, показывают, что при наименьших амплитудах и наибольших длинах морских волн коэффициент ослабления стремится к 1. Это формирует зеркальную отражающую поверхность и является наихудшим вариантом формирования интерференционной картины в точке приема сигнала.

Наиболее вероятным является сценарий не полного пропадания канала связи, а его ухудшение, что приведет к снижению скорости передачи данных. Однако при увеличении объема передаваемой информации степень влияния параметров среды на качество каналов связи будет возрастать и противоречие между требуемой и реализуемой пропускной способностью ССПД СУДС будет обостряться.

В результате проведенного исследования установлено:

- морская поверхность оказывает большое воздействие на качество каналов связи ССПД СУДС, что необходимо учитывать при построении сетей передачи данных над морской поверхностью;

- проведенные нами исследования позволят точно производить расчеты радиотрасс над морской поверхностью, что обеспечит надежную и устойчивую работу ССПД СУДС и повысит безопасность мореплавания;

- при организации новых ССПД СУДС полученные нами данные позволят производить выбор оптимального направления радиотрасс, обеспечивающего наибольшую устойчивость работы, а также совершенствовать действующие ССПД СУДС с учетом статистики волнений моря путем применения различных методов борьбы с МСИ.

В четвертой главе произведен сравнительный анализ и выбор технологии передачи данных, разработана структура и технические решения для совершенствования ССПД СУДС Владивосток.

Сравнение технологий передачи данных осуществляется на основании показателя эффективности, для численной оценки которого используется критерий результат/стоимость. Он представляет собой себестоимость информации, передаваемой по одному каналу связи и определяется отношением стоимости оборудования и работ на построение сети связи к количеству организованных каналов связи.

В зависимости от технологии построения ССПД СУДС, стоимость оборудования, работ и количество каналов связи будет меняться, что отразится на показателе эффективности.

Выполнен сравнительный анализ оборудования БШД с целью применения в ССПД СУДС Владивосток, по результатам которого сделан выбор в пользу отечественной компании-разработчика.

На основании разработанной модели произведен выбор новой топологии, обеспечивающей наиболее устойчивую связь с учетом влияния морской поверхности, впервые разработаны новая структура (рисунок 11) и схема (рисунок 12) ССПД СУДС Владивосток.

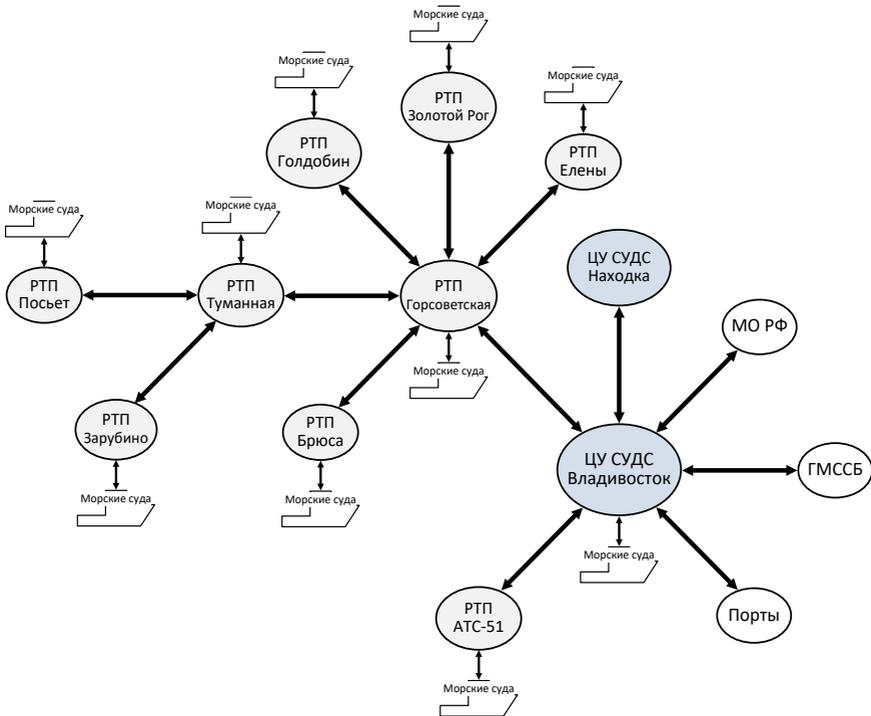


Рисунок 11 – Структура перспективной ССПД СУДС Владивосток



Рисунок 12 – Схема перспективной ССПД СУДС Владивосток

Произведен расчет зоны покрытия морской связи ССПД СУДС Владивосток, обеспечивающей передачу данных с судами со скоростью 30 Мбит/с на расстоянии 40 км от берега. (рисунок 13).

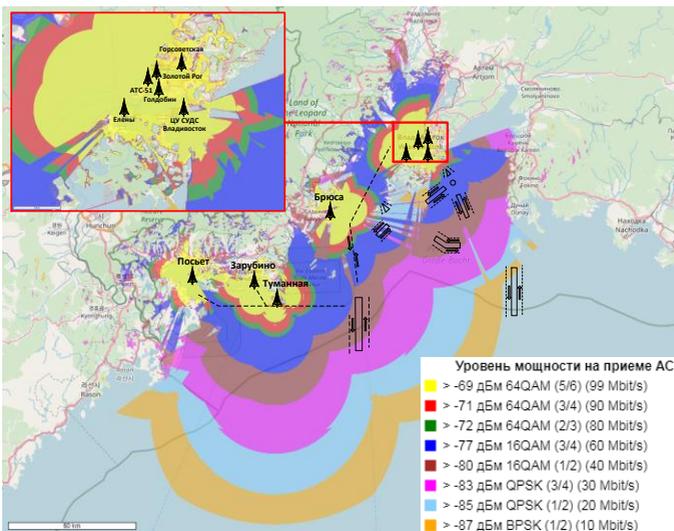


Рисунок 13 – ССПД СУДС Владивосток в направлении берег-судно

В результате проделанной работы, впервые разработан алгоритм применения БШД в ССПД СУДС (рисунок 14).



Рисунок 14 – Структура алгоритма применения БШД в ССПД СУДС

По результатам проведенного анализа установлено:

- наиболее оптимальной для совершенствования ССПД СУДС в целях повышения безопасности мореплавания является технология БШД;

- зона покрытия сети БШД полностью соответствует зоне ответственности СУДС Владивосток и может обеспечить передачу данных о надводной обстановке без ограничений;

- предложенные технические решения по совершенствованию ССПД СУДС Владивосток на базе БШД обеспечат предоставление широкополосных услуг органам управления судовождением и возможность управления качеством сети;

- эффективность применения БШД в ССПД СУДС по критерию результат/стоимость существенно превышает другие способы передачи данных о надводной обстановке;

- внедрение БШД в ССПД СУДС Владивосток создаст необходимые условия для реализации концепции е-Навигация в

интересах повышения безопасности мореплавания в рассматриваемом районе.

В **заключении** приведены основные результаты и выводы:

1. Разработан алгоритм применения БШД в ССПД СУДС, учитывающий расположение радиотрасс над морской поверхностью.

2. Разработана новая структура ССПД СУДС Владивосток на базе БШД, обеспечивающая обмен данными с судами в режиме реального времени.

3. Разработана математическая модель расчета радиотрасс, учитывающая влияние морской поверхности на функционирование ССПД СУДС.

4. Получены результаты моделирования влияния подстилающей морской поверхности на распространение радиосигнала на примере ССПД СУДС Владивосток.

5. Произведен расчет зоны покрытия ССПД в направлении берег-судно, которая обеспечит устойчивую передачу данных в зоне ответственности СУДС Владивосток.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Скварник И.С. Современные технологии в системе управления движением судов в рамках концепции e-Навигации: мировой опыт и региональные особенности (обзор) / И.С. Скварник // Вестник ИШ ДВФУ. – 2021. – №2 (47). – с. 50-65.

2. Скварник И.С. Анализ возможностей технологий беспроводного широкополосного доступа для обеспечения безопасности мореплавания в заливе Петра Великого / И.С. Скварник, О.И. Совкова, Л.Г. Стаценко // Вестник ИШ ДВФУ. – 2020. – №3 (44). – с. 104-120.

3. Скварник И.С. Технологии беспроводного широкополосного доступа: оценка возможности применения для управления движением судов / И.С. Скварник, О.И. Совкова, Л.Г. Стаценко, Г.П. Турмов // Вестник ИШ ДВФУ. – 2019. – №4 (41). – с. 113-124.

4. Скварник И.С. Устройство автоматического переключения на резервный радиоканал передачи данных в реальном масштабе времени / И.С. Скварник, А.А. Шмаков, А.Н. Шентябин, И.В. Минин // Вопросы радиоэлектроники. – 2019. – №5. – с. 39-48.

5. Скварник И.С. Оценка производительности беспроводной сети связи для сбора информации о воздушной обстановке / И.С. Скварник // Вестник воздушно-космической обороны. – 2018. – №3 (19). – с. 85-93.

Публикации в изданиях, входящих в базу данных Scopus

6. Skvarnik I.S., Sovkova O.I., Statsenko L.G. Wireless broadband access technology for building of communication and data transfer networks of vessel traffic management system // 2019 International multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, October 1-4, 2019. – IEEE Xplore.

7. Skvarnik I.S., Abushenkova S.V. Justification of requirements to productivity of wireless network // 2018 International multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, October 2-4, 2018. – IEEE Xplore. – p. 1-4.

Публикации в других изданиях, материалы конференций

8. Скварник И.С. Инфраструктура связи системы управления движением судов в рамках стратегии е-Навигации / И.С. Скварник // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития: тезисы докладов 5-ой всероссийской молодежной научной конференции, Тамбов, 6-7 мая 2020 г. – с. 192-194.

9. Скварник И.С. Модернизация сети связи и передачи данных системы управления движением судов в заливе Петра Великого за счет средств беспроводного широкополосного доступа / И.С. Скварник // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития: тезисы докладов 4-ой всероссийской молодежной научной конференции, Тамбов, 6-7 мая 2019 г. – с. 197-198.

10. Скварник И.С. Применение технологии беспроводного широкополосного доступа для построения сети связи и передачи данных в системе управления движением судов морского порта Владивосток / И.С. Скварник, Л.Г. Стаценко // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований – тезисы докладов 2-ой всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 8-12 апреля 2019 г. – с. 74-76.

11. Скварник И.С. Устройство, обеспечивающее автоматический переход на резервный радиоканал передачи данных без потери информации / И.С. Скварник, А.А. Шмаков // Оптические и

информационные технологии: сборник тезисов молодежной конференции, Новосибирск, 6-7 сентября 2018 г. – с. 27-28.

12. Скварник И.С. Обоснование требований к интерфейсам сопряжения канального и физического уровней радиоэлектронных средств радиотехнических подразделений / И.С. Скварник // Армейский сборник. – 2018. – №2. – с. 43-47.

13. Патент на полезную модель № 194025, Российская Федерация. Устройство автоматической коммутации каналов связи для средств радиотехнического обеспечения полетов / С.Ю. Котов, А.А. Шмаков, И.С. Скварник. Москва, ПАО «НПО «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина»; приоритет изобретения 05.08.2019 г., дата регистрации 25.11.2019 г.

14. Патент на изобретение № 2723005, Российская Федерация. Система автоматической коммутации каналов связи и управления для средств радиотехнического обеспечения полетов / С.Ю. Котов, А.А. Шмаков, И.С. Скварник. Москва, ПАО «НПО «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина»; приоритет изобретения 20.11.2019 г., дата регистрации 08.06.2020 г.