

На правах рукописи



Хоменко Дмитрий Борисович

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ СУДОВ**

05.22.19 – Эксплуатация водного транспорта, судовождение.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Владивосток – 2015

Работа выполнена в Федеральном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского».

Научный руководитель Акмайкин Денис Александрович
кандидат физико-математических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Орощук Игорь Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры боевого применения средств связи филиала Военного учебно-научного центра ВМФ «Военная морская академия» (г. Владивосток);

Карасев Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Судовождение» Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета


Ведущая организация – Новосибирская государственная академия водного транспорта

Защита состоится 25 февраля 2015 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 223.005.01 при Морском государственном университете имени адмирала Г. И. Невельского по адресу: 690600, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ауд. 241 УК-1, тел.: (423) 230-12-51, факс (423) 251-76-39, e-mail: office@msun.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Морского государственного университета имени адмирала Г. И. Невельского http://www.msun.ru/ru/csi_dissovet_ref

Автореферат разослан «23» декабря 2014 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А. Г. Резник

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Безопасность мореплавания является важнейшим фактором при осуществлении морского судоходства. В настоящее время этот вопрос остается одним из приоритетных практически во всех ведущих морских державах мира.

Для судов в открытом море волнение, как правило, оказывает решающее влияние на безопасность морского сообщения. Движение в штормовых условиях связано с целым рядом опасных обстоятельств: усилением качки, зарыванием в волну, попаданием на палубу больших масс воды и др. Особое влияние морское волнение оказывает на такие мореходные качества судна, как остойчивость, качка и управляемость.

Анализ состояния аварийности судов показывает, что ряд аварий на морском транспорте связан с неправильной оценкой состояния морского волнения. Так, 23 октября 2006 года в Японском море потерпел кораблекрушение и затонул теплоход «Синегорье». Основной причиной кораблекрушения признано ошибочное управление судном на попутном волнении, приведшее к попаданию судна в зону резонансной качки, периодическому резкому уменьшению его остойчивости на гребнях попутных волн и получению больших углов крена. 1 июля 2012 года в заливе Анива при циркуляции через левый борт у рыболовной шхуны «Аргонавт» палубу начало заливать водой. Судно развернуло лагом к волне, и оно затонуло. По мнению членов комиссии, расследовавших обстоятельства трагедии, капитан неправильно оценил параметры морского волнения и по этой причине не принял мер по обеспечению безопасности плавания.

В настоящее время, несмотря на разработанные рекомендации по управлению движением судна в полях волн, определение параметров морского волнения судоводителями до сих пор осуществляется визуально, особенно это затруднено ночью при интенсивных осадках. В результате в мировом судоходстве происходят тяжелые аварии, сопровождающиеся человеческими жертвами и экологическими катастрофами, связанные с неправильной оценкой судоводителями параметров морского волнения. В связи с этим актуальной проблемой, связанной с управлением судном, является определение параметров морского волнения, в большой степени влияющего на безопасное движение судна.

Диссертационная работа посвящена оценке состояния морской поверхности на основе обработки информации, поступающей от судовой радиолокационной станции, для снижения количества аварийных ситуаций вследствие движения судна в неблагоприятных сочетаниях курсовых углов и скоростей.

Результаты исследования направлены на повышение уровня безопасности судоходства, снижение морских и экологических катастроф.

Область исследования – методы и средства повышения безопасности мореплавания, а **предмет исследования** – определение параметров морского волнения на основе обработки принятого сигнала судовой РЛС.

Целью работы является разработка способа автоматического определения высоты, длины и направления распространения фронта морского волнения для уменьшения времени принятия судоводителем решения о способах штормования.

В связи с этим в данной работе были поставлены **следующие задачи**.

1. Анализ существующих способов определения параметров морского волнения.
2. Разработка способа определения высоты, направления и периода морского волнения по данным радиолокационного зондирования.
3. Создание алгоритмов обработки радиолокационной информации по определению характеристик морского волнения.
4. Разработка программно-аппаратного обеспечения, позволяющего осуществлять прием и преобразование принятого радиолокационного сигнала для обработки с помощью вычислительных устройств.

Связь с государственными программами и НИР. Диссертационная работа связана с научно-исследовательской госбюджетной темой программы «УМНИК» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «Разработка системы предупреждения аварийных ситуаций при маневрировании судна с учетом гидрометеорологической обстановки в зоне видимости судовой радиолокационной станции», выполняемой на кафедре технических средств судоходства Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского.

Тема связана с федеральными целевыми программами: «Модернизация транспортной системы России» в рамках задачи «Комплексная информатизация транспорта на основе использования современных телекоммуникационных и навигационных систем»; планами НИР вуза в рам-

ках темы «Повышение эффективности технических средств навигации и разработка методов их комплексного использования».

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Определена степень затухания радиоволн радиолокационного диапазона при различных метеорологических условиях на основе сопоставления данных о целях, определяемых транспондером автоматической идентификационной системы (АИС) и судовой РЛС.

2. Для оценки балльности морского волнения предложено использовать в качестве уровня мощности принятого радиолокационного сигнала количество предельных значений аналого-цифрового преобразователя (АЦП) на единицу площади.

3. Впервые предложено определять направление распространения морского волнения по характеристикам корреляционных функций, рассчитанных на участках морской поверхности в различных азимутальных направлениях относительно курса судна.

4. Разработано устройство для определения состояния морской поверхности.

Основные научные результаты, выносимые на защиту.

1. Алгоритм оценки высоты морского волнения на основе анализа количества предельных значений аналого-цифрового преобразователя на единицу площади морской поверхности.

2. Алгоритм определения направления распространения фронта морского волнения, основанный на расчете минимального значения длины большой оси корреляционного эллипса, построенного по уровню $\frac{1}{2}$ коэффициента детерминации двумерной корреляционной функции принятого сигнала судовой РЛС.

3. Алгоритм определения периода морского волнения на основе способа применения спектрального анализа принятых сигналов РЛС, выбранных поперек фронта морского волнения.

4. Устройство для определения состояния морской поверхности.

Практическая значимость работы. Разработанные в диссертации способ, алгоритмы и программа обработки применены в комплексной обработке данных судовых РЛС. Возможна адаптация этих процедур к радиолокационным станциям различных производителей и при разработке новых навигационных систем. Удобный интерфейс представления радиолокационной информации о волнении позволяет оперативно принимать

решение о смене режима штормования на основе предупреждения о неблагоприятных сочетаниях скоростей судна и курсовых углов бега волн.

Апробация работы. Основные результаты, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на следующих конференциях: молодежный конкурс ИТ-проектов «ДАЛЬИНФОКОМ» (Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2009); итоговая конференция Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, программа «УМНИК» (Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2009); международный транспортный форум «Транспорт России: становление, развитие, перспективы», выставка научно-технического творчества (Москва, МИИТ, 2009); V международный форум «Транспорт России» (Москва, Министерство транспорта РФ, 2011); конкурс на лучшую научную работу среди аспирантов и молодых ученых по техническому направлению (Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2012); конференция Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, программа «УМНИК» (Владивосток, ДВФУ, 2012); 57-я, 58-я, 59-я, 60-я и 61-я научно-техническая конференция «Молодежь – наука – инновации» (Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2009, 2010, 2011, 2012 и 2013 гг.).

Публикации. Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 19 печатных работах, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК, и одна монография. Список работ приведен в конце автореферата. Получен патента на изобретение от 19 июня 2012 г.: Хоменко Д. Б., Акмайкин Д. А. «Устройство для определения состояния морской поверхности», № 2510040(13).

Личный вклад. Соискатель участвовал в подготовке материалов и написании статей по тематике диссертации, разработке и создании экспериментальной установки по обработке сигнала, получаемого с выхода приемника судовой радиолокационной станции. Проводил экспериментальные исследования и разрабатывал специализированные программные продукты для обработки и анализа данных радиолокационного зондирования.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, 2 приложений и списка литературы (147 наименований). Общий объем работы – 153 страницы, в том числе 50 рисунков и 13 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определены цель, актуальность, научная новизна и практическое значение работы. Кратко излагается содержание диссертации и поясняется ее структура.

В **первой главе** проведен анализ способов определения параметров морского волнения.

Показано, что при плавании судна в условиях шторма на попутном волнении или волнении с кормовых курсовых углов характеристики его основных мореходных качеств, таких как качка и управляемость, существенно изменяются. Описаны виды реакции судна на морское волнение и явления, предшествующие аварийной ситуации в полях волн. Проанализирована методика М. А. Кутейникова, позволяющая облегчить выбор безопасных режимов движения судна на волнении, учитывая индивидуальные параметры судна.

Произведен анализ современных методов и устройств определения параметров взволнованной морской поверхности.

Проанализирована методика В. И. Сичкарёва, позволяющая связать уровень отраженного от морской поверхности сигнала РЛС с высотой волны.

Произведен анализ влияния метеорологических условий на распространение радиоволн судовой РЛС. Показано ослабление, вносимое дождем, туманом, градом, облаками. Практически проверено влияние метеорологических условий на распространение радиоволн судовой РЛС с помощью транспондера автоматической идентификационной системы.

Общее ослабление радиолокационного сигнала, вызванное влиянием гидрометеоров

$$L_{nom} = L_{\partial} + L_m + L_{gp} + L_{об}, \quad (2)$$

где L_{∂} – ослабление, вносимое дождем; L_m – ослабление, вносимое туманом; L_{gp} – ослабление, вносимое градом; $L_{об}$ – ослабление, вносимое облаками.

Вторая глава посвящена анализу отражающих свойств морской поверхности.

Поверхность моря при волнении является поверхностью со сложной шероховатостью. Она состоит из первичных, наиболее крупных и хорошо выраженных волн, и вторичных, сравнительно небольших волн, покрывающих первичные. Некоторые участки поверхности моря покрыты пеной, пузырями, каплями рассыпавшихся гребней волн и т. п.

Функция, описывающая высоту любой точки поверхности, может быть представлена в виде суммы нескольких слагаемых, каждое из которых описывает соответствующую структуру $F_h(x, y) = \sum_{i=1}^n h_i(x, y)$. Для практических целей достаточно ограничиться $n = 3$. Тогда h_1 будет описывать первичные волны, h_2 – вторичные, h_3 – эффективную высоту таких образований, как рябь, пена, капли и т. д.

Эффективная площадь рассеяния поверхности со сложной шероховатостью

$$S_y = K_f \left[\frac{1}{a_o^2} \left(1 - \frac{4\pi\sigma_h}{\lambda} \right) e^{-\frac{tg^2\beta}{a_o^2}} + \frac{4\pi\sigma_h}{\lambda b_o^2} e^{-\frac{tg^2\beta}{b_o^2}} \right], \quad (3)$$

где K_f – коэффициент зеркального отражения; σ_h – среднеквадратическое значение высоты поверхности (волн);

$$a_u^2 = \frac{4\sigma_{h1}^2}{r_{h1}} + \frac{4\sigma_{h2}^2}{r_{h2}} - \text{параметр шероховатости}; \quad (4)$$

r_h – радиус корреляции, расстояние, при удалении на которое значения высоты поверхности элементарных площадок ΔS_i и ΔS_k будут все больше различаться; $b_u^2 = a_u^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r_{h3} \cos \beta} \right)^2$ – параметр шероховатости, зависящий от аких образований, как рябь, пена, капли и т. д.; β – угол визирования.

Эффективная площадь рассеяния крупной структуры определяется формулой

$$S_{\xi} = \pi \rho_{cp}^2 \times N_2. \quad (5)$$

Среднее число зеркальных точек N_2 , приходящихся на единицу длины, для двумерной гауссовой поверхности $z = \xi(x, y)$ определяется как

$$N_2 = \frac{4}{\pi} E_1 \Phi \left(\frac{E_2}{E_1} \right) W(\gamma_x, \gamma_y), \quad (6)$$

где E_1, E_2 – параметры, определяемые моментами энергетического спектра морского волнения; $\Phi(x)$, ($0 \leq x \leq 1/2$) – очень медленно, монотонно убывающая функция с максимальным и минимальным значениями, соответственно равными $\Phi(0) = 1$, $\Phi(1/2) \approx 0,907$; $W(\gamma_x, \gamma_y)$ – плотность распределения наклонов поверхности, которая является нормальным распределением.

Средний радиус кривизны для двумерной поверхности определяется по формуле

$$\rho_{cp} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{\sigma_h^{3/2}}{1 + \gamma_x^2 + \gamma_y^2}. \quad (7)$$

В работе С. Г. Зубковича некогерентная мощность отраженного от поверхности моря сигнала

$$P_{нкз}(\tau_u) = \frac{P_n S_a}{16\pi^2 R_0^3} \cdot \frac{K_f^2}{a_{uu}^2} c \tau_u G, \quad (8)$$

где P_n – мощность передатчика; τ_u – длина зондирующего импульса; c – скорость света; G – коэффициент усиления антенны; R_0 – расстояние до отражающей поверхности.

Используя формулы (4), (5), (6), (7) и с учетом затухания сигнала, вызванного изменением гидрометеорологической обстановки, из формулы (8) было получено выражение для определения среднеквадратического значения высоты морского волнения

$$\sigma_h = \frac{32P_{нкз} (1 + \gamma_x^2 + \gamma_y^2)^2 \pi \cdot R_0^3}{P_n E_1 \Phi\left(\frac{E_2}{E_1}\right) W(\gamma_x, \gamma_y) K_f^2 r_h c \tau_u G} \cdot e^{-0,23L_{ном}R_0}. \quad (9)$$

Средняя высота волн h_{cp} связана со среднеквадратическим значением высоты морского волнения σ_h соотношением

$$h_{cp} = \sqrt{8\pi\sigma_h^2}. \quad (10)$$

Морскую поверхность можно рассматривать как двумерное поле нескольких величин с возможностью оценки связи между ними. Эту связь можно характеризовать взаимными ковариационными и корреляционными функциями.

Так, для поля двух случайных величин $f(r)$ и $g(r)$ их взаимная ковариационная функция имеет вид

$$m_{fg}(r_i, r_k) = [f(r_i) - \bar{f}(r_i)][g(r_k) - \bar{g}(r_k)],$$

а нормированная взаимная корреляционная функция

$$\mu_{fg}(r_i, r_k) = \frac{m_{fg}(r_i, r_k)}{\sigma_f(r_i)\sigma_g(r_k)}. \quad (11)$$

В работе направление фронта распространения морского волнения предложено определять по характеристикам корреляционных функций, отражающих шероховатость поверхности.

Основываясь на том, что наилучшее условие для отражения радиоволн соответствует направлению оси антенны в сторону, откуда приходят морские волны, частоту поверхностного волнения предложено определять в субква-

тории, расположенной в направлении распространения морского волнения. С помощью быстрого преобразования Фурье предложено нахождение спектральной функции принятых сигналов

$$s(X) = A_0 + 2 \sum_{m=1}^{n-1} (A_m \cos 2\pi m f_1 t + B_m \sin 2\pi m f_1 t) + A_n \cos 2\pi n f_1 t, \quad (12)$$

где $f_1 = \frac{1}{\Delta D_{разр}}$; $A_{0,m,n}$, B_m – коэффициенты Фурье.

Согласно теореме Парсеваля

$$\frac{1}{N} \sum_{\lambda=-n}^{n-1} (P_\lambda - R_0^2) = 2 \sum_{m=1}^{n-1} R_m^2 + R_n^2, \quad (13)$$

где $R_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$ – вклад гармоники в среднюю спектральную мощность сигнала. После разложения средней спектральной мощности сигнала на отдельные гармоники строится график спектральной мощности.

В третьей главе показана разработка способа определения параметров морской поверхности с помощью информации, получаемой от судовой радиолокационной станции.

Для исследования сигналов используемой в работе РЛС ЖМА-2044 одним из важных аспектов являлся выбор устройства аналого-цифрового преобразования (АЦП). Определены основные параметры таких устройств, и проведен анализ сравнительных характеристик различных типов аналого-цифровых преобразователей и систем сбора данных. По соотношению «цена – производительность» для дальнейшего анализа аналогового сигнала станции в работе предложено использовать плату аналого-цифрового преобразования Ла-н20-12РСІ.

Проработана детальная схема коммутации РЛС ЖМА-2044 и АЦП Ла-н20-12РСІ, создана экспериментальная установка по изучению принятых сигналов РЛС (рисунок 1).

С помощью установки были получены показания с развертки экрана судовой навигационной РЛС ЖМА-2044 в цифровом виде. Каждый импульс зондирования оцифровывался с частотой дискретизации 50 МГц и глубиной оцифровки 12 бит. Пространственное разрешение такого импульса $\Delta D_{разр} = 3$ м.



Рисунок 1 – Экспериментальная установка по изучению принятых сигналов РЛС

Обработка принятого сигнала осуществлялась специально разработанной программой в три параллельных потока. Первый поток осуществлял первичное преобразование принятого сигнала. Второй поток осуществлял преобразование сохраненных данных в декартову систему координат, где за ноль была взята точка нулевого положения антенны РЛС и сохранение данных на жестком диске в текстовом формате. Каждая точка описывалась на отдельной строке тремя числами координатой по оси X в метрах, координатой по оси Y в метрах и значением сигнала в этой точке. Данные представлялись в матрицы числовых значений, анализ которых осуществлялся с помощью системы программирования научно-технических расчетов Matlab. Третий поток отвечал за визуализацию результатов и присвоение параметров переменным.

Определение высоты морского волнения предложено рассчитывать по плотности количества предельных значений АЦП ($N_{пред}$) на единицу площади, обозначенную как $\rho_{пред}$.

Расчет проводился в секторе, ограниченном кольцом с радиусами R_H и R_L . Алгоритм определения высоты морского волнения приведен на рисунке 2.

Расчет высоты волн осуществлялся по формуле (10). Для определения значений σ_h в формуле (9) в качестве мощности отраженного от поверхности моря сигнала используется величина $\rho_{пред}$. В качестве мощности передатчика

используется величина $\rho_{\text{зерк}}$, представляющая максимально возможную плотность количества предельных значений АЦП на единицу площади при зеркальном отражении с учетом затухания сигнала в пространстве.

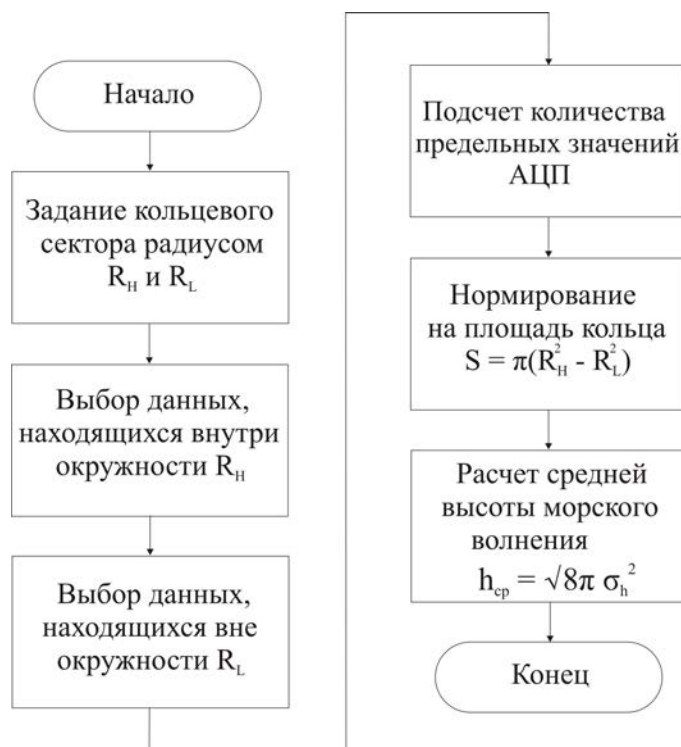


Рисунок 2 – Алгоритм определения высоты морского волнения

Для определения генерального направления распространения фронта морского волнения выбирались сектора, равноудаленные от судовой РЛС во всех азимутальных направлениях. В выбранных секторах проводился расчет корреляционных функций. По уровню $\frac{1}{2}$ коэффициента детерминации двумерной корреляционной функции строился корреляционный эллипс и определялась длина его большой оси.

Положение сектора, в котором длина большой оси корреляционного эллипса наименьшая, определяло направление распространения фронта морского волнения. По данным, выбираемым из сектора, расположенного поперек фронта морского волнения, находилась функция спектральной мощности. По графику спектральной мощности определялись гармоники длин волн.

Практическая реализация разрабатываемого в работе способа была оформлена как изобретение «Устройство для определения состояния морской поверхности».

Четвертая глава посвящена экспериментальной части работы. Приводятся рекомендации по использованию разработанных способов в судовождении.

Проведение эксперимента осуществлялось с учетом того, чтобы входные переменные измерялись в точно учитываемых условиях, позволяя оценить ход опытов и воссоздавать их результаты каждый раз при повторении. Натурные измерения производились на научно-исследовательском судне «Галс» (дедвейтом 21 тонна). Для объективного анализа и исключения погрешностей, обусловленных качкой, сбор данных производился с фиксированного места. При всех условиях эксперимента катер находился у причала водной станции Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского. Сбор натурных данных проводился при трех состояниях волнения моря, значения которых приведены в таблице 1. Направление ветра для случаев 2 и 3 северо-западное.

Таблица 1 – Погодные условия при проведении эксперимента

№ п.п.	Состояние моря	Скорость ветра, м/с	Высота волны, м
1	Легкий ветер	2	0,05÷0,1
2	Спокойный бриз	6	0,4÷0,5
3	Сильный бриз	18	1,3÷1,5

Записывалось не более 50 полных оборотов антенны РЛС. Ограничение обусловлено аппаратными возможностями вычислительного устройства.

Анализ отраженного сигнала проводился в восьми секторах размером 100×100 м, центры которых расположены на удалении 300 метров от антенны РЛС, как показано на рисунке 3. Углы между центрами анализируемых секторов с первого по восьмой и нулевым курсовым углом судна составляли 290° ; $262,5^\circ$; 235° ; $207,5^\circ$; 180° ; $152,5^\circ$; 55° и 0° соответственно. При разрешении 3 м по расстоянию разрешающая способность по углу между смежными импульсами зондирования не превышала 1,1 м.

В секторах, расположенных в зоне отображения земной поверхности (рисунок 4 сектор 7), для всех типов анализа и вариантов эксперимента уровень принятого сигнала в максимальном количестве координат поверхности соответствовал предельным значениям АЦП. В секторах, расположенных в зоне отображения морской поверхности при отсутствии целей в секторе, уровень предельных значений АЦП зависел от состояния морской поверхности.

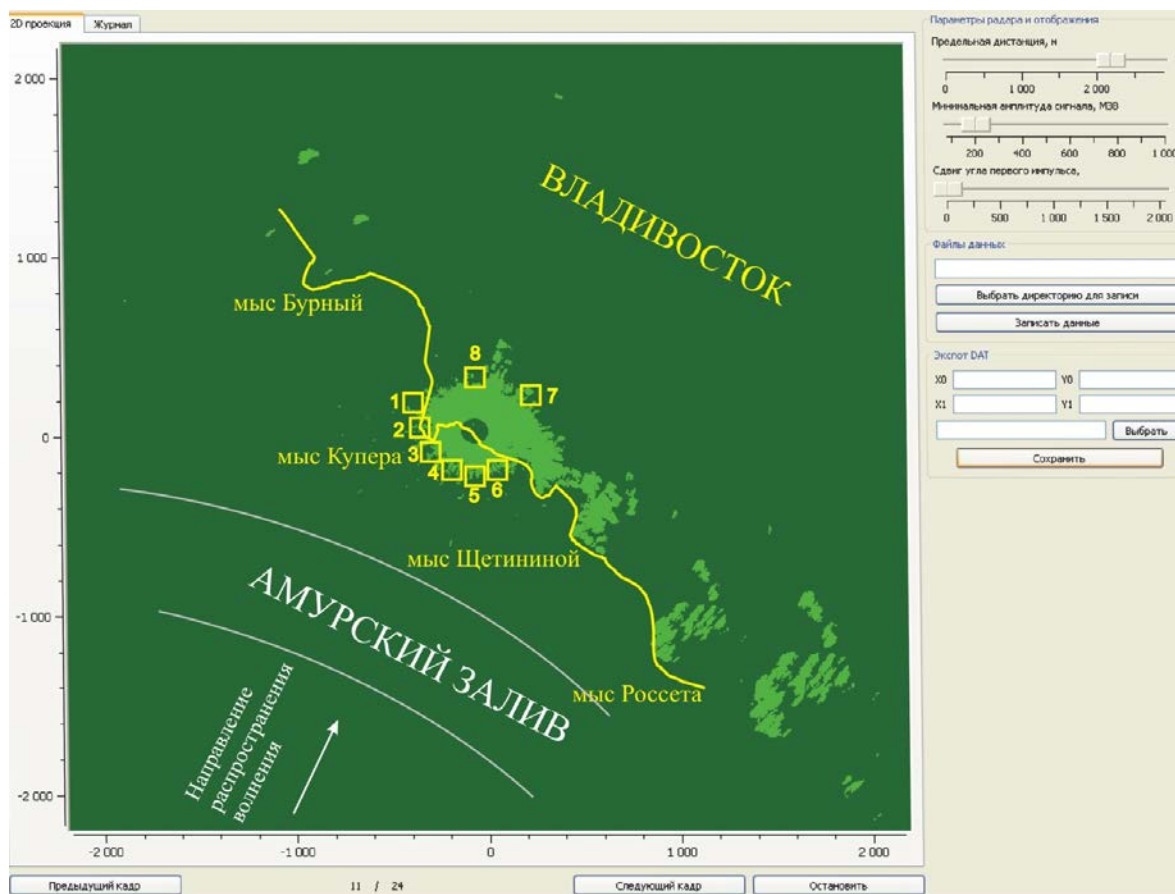


Рисунок 3 – Пример развертки экрана РЛС относительно береговой черты

Значения $\rho_{пред}$ и расчетной высоты морского волнения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные значения морского волнения по уровню мощности принимаемого сигнала РЛС

№ п.п.	Состояние моря	Высота волнения, м	$\rho_{пред}$, $N_{пред}/M^2$	Расчетная высота волнения, м
1	Легкий ветер	0,05÷0,10	$0,1 \cdot 10^{-2}$ $\pm 0,04 \cdot 10^{-2}$	0,1
2	Спокойный бриз	0,4÷0,5	$3,2 \cdot 10^{-2}$ $\pm 0,10 \cdot 10^{-2}$	0,3÷0,4
3	Сильный бриз	1,3÷1,5	$7,5 \cdot 10^{-2}$ $\pm 0,55 \cdot 10^{-2}$	1,3÷1,6

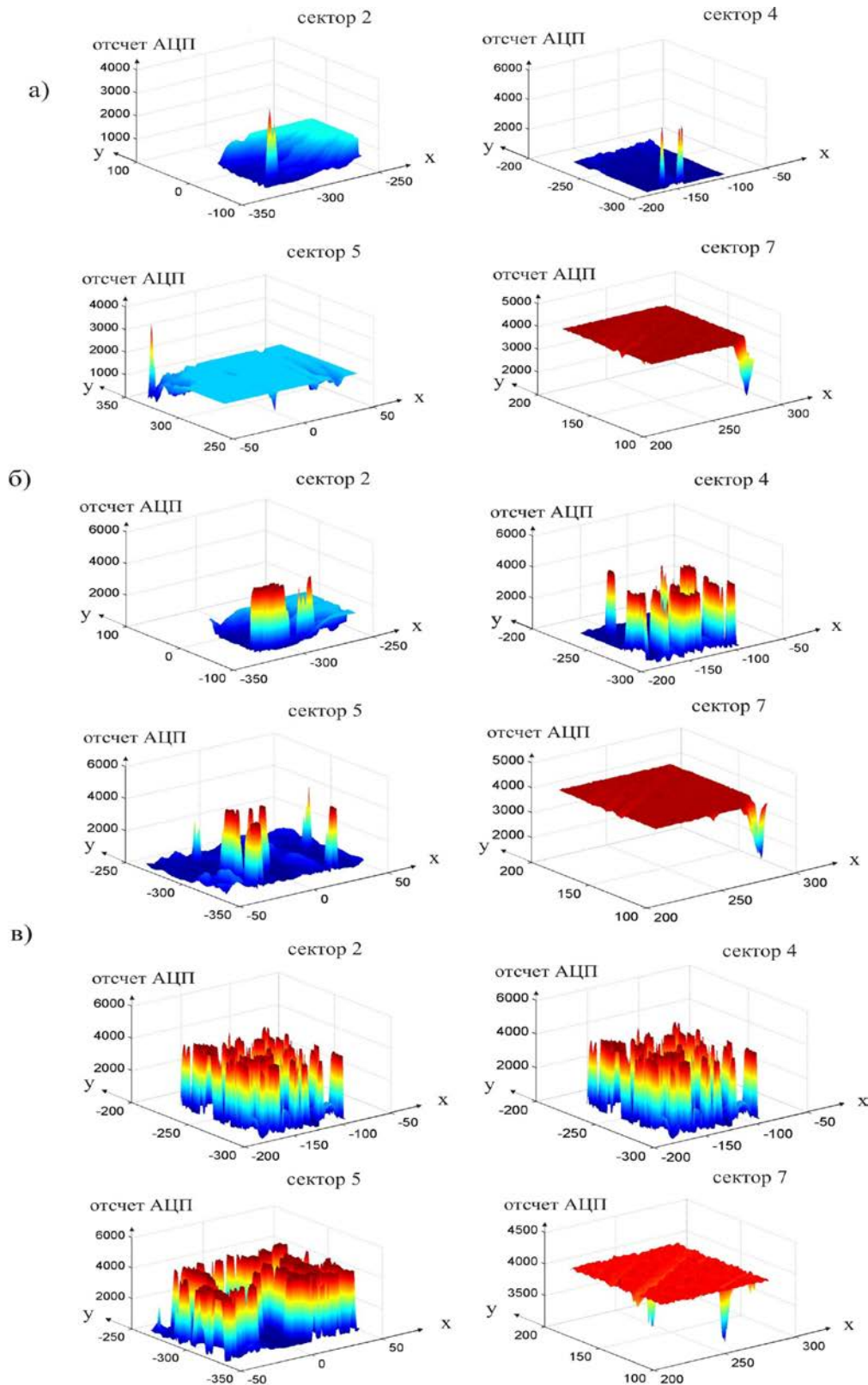


Рисунок 4 – Пространственное представление принятых сигналов (сектора 2, 4, 5 – водная поверхность; сектор 7 – суша): а) погодные условия «легкий ветер»; б) погодные условия «спокойный бриз»; в) погодные условия «сильный бриз»

Таким образом, зная значение $\rho_{пред}$ для нескольких значений высоты морских волн, пользуясь способом, предложенным в третьей главе, можно определить высоту морского волнения вокруг РЛС.

Для всех полученных данных в исследуемых секторах были рассчитаны автокорреляционные функции (рисунок 5).

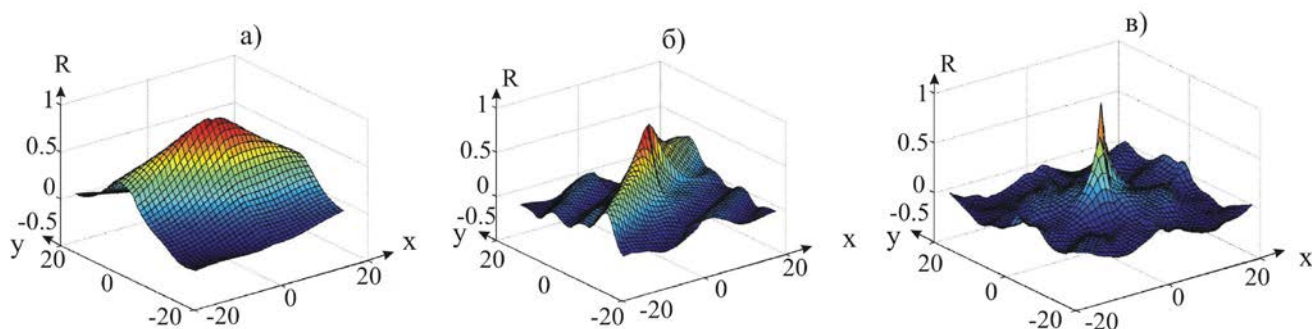


Рисунок 5 – Пример двумерной корреляционной функции при различном состоянии моря: а) легкий ветер; б) спокойный бриз; в) сильный бриз

Далее по уровню $\frac{1}{2}$ коэффициента детерминации двумерных корреляционных функций осуществлялось построение корреляционных эллипсов. Для дальнейшего анализа данных полей морских волн в корреляционных эллипсах находились значения длин большой оси R_h (рисунок 6).

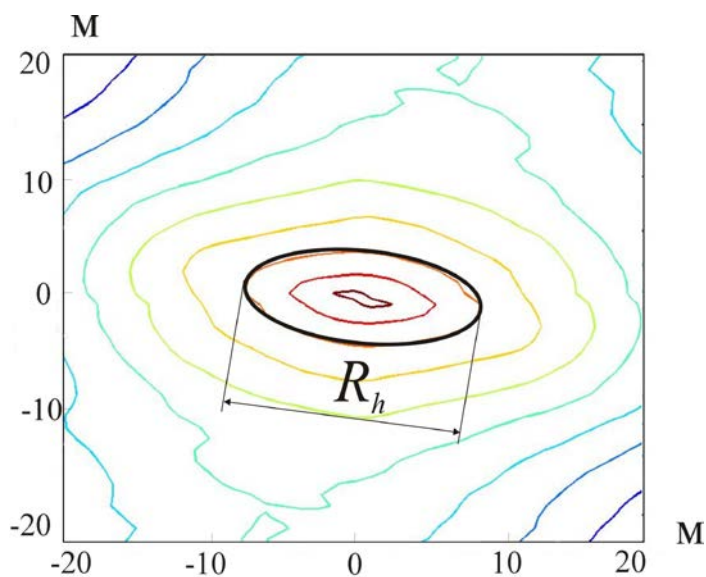


Рисунок 6 – Пример нахождения длины большой оси корреляционного эллипса

По значениям среднего радиуса корреляции автокорреляционных эллипсов во всех азимутальных направлениях построен график зависимости значения радиуса корреляции от направления распространения фронта морских волн (рисунок 7).

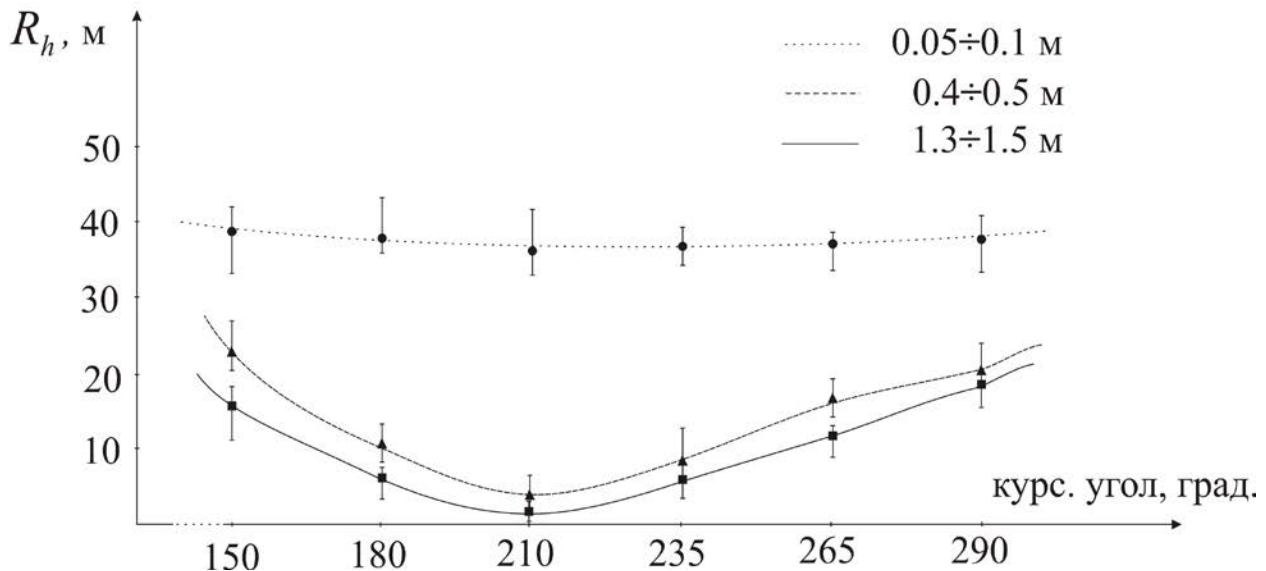


Рисунок 7 – График зависимости длины большой оси корреляционных эллипсов от курсового угла исследуемого сектора

Из рисунка 7 видно, что наименьшему значению радиуса корреляции автокорреляционных эллипсов соответствует курсовой угол 210° . Результаты экспериментального определения направления морского волнения совпали с результатами визуальных наблюдений.

В связи с тем что частота дискретизации используемого в работе АЦП составляла не более 50 МГц, то на основании теоремы Котельникова расчет проводился только для высоты морского волнения 1,3÷1,5 метра, т. к. при меньшей высоте морского волнения длины волн сопоставимы или меньше пространственного разрешения. После определения направления распространения морского волнения из данных радиолокационного зондирования выбирался сектор по курсовому углу 210° шириной 10 метров и длиной 200 метров, начало которого располагалось на удалении 150 метров от судна, и строилась функция спектральной мощности различных гармоник волнения (рисунок 8).

На полученных периодограммах наблюдаются значения основных гармоник длины морских волн от 12 до 17 метров, что подтверждено визуальными наблюдениями и данными Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

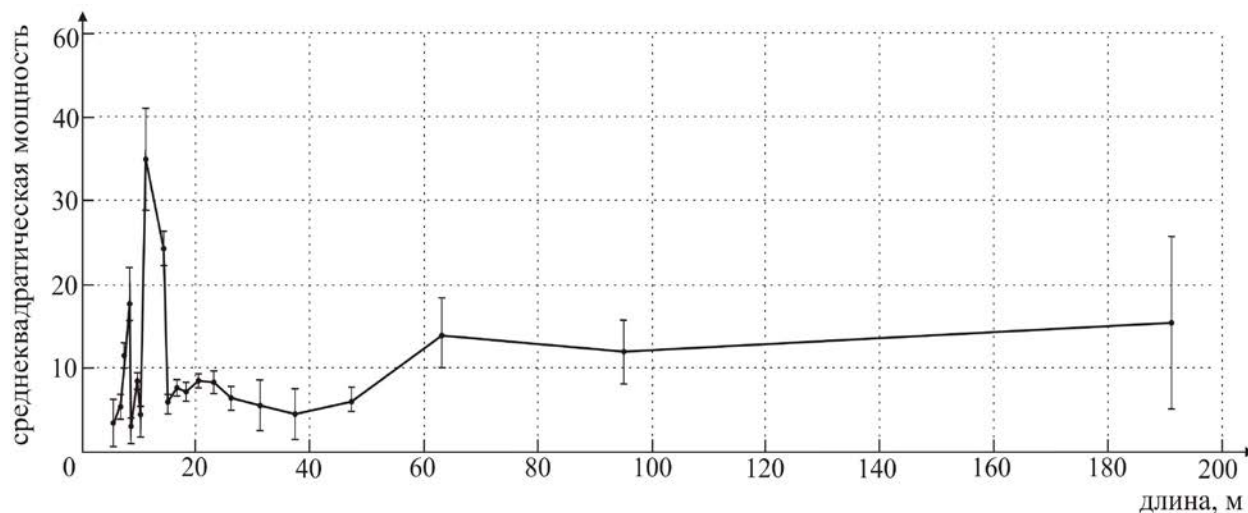


Рисунок 8 – Спектр морского волнения при высоте волны 1,5 м

Способы, предложенные в работе, предлагается использовать в программном комплексе, предложенном М. А. Кутейниковым. Автоматическое внесение информации о параметрах волнения вокруг судна выдаст судоводителю рекомендации по выбору сочетания курсового угла и скорости движения в текущих условиях, которые безопасны по условиям мореходности и прочности. Благодаря этому от оператора не требуется навыка по определению параметров морского волнения и ввода динамических параметров волнения вручную. Также использование предложенных способов позволит проводить оценку опасности морского волнения при любом состоянии окружающей среды, в том числе в условиях плохой видимости и в ночное время.

В заключении отмечается: достигнута основная цель работы – повышение безопасности плавания за счет автоматического определения высоты, направления распространения и периода морского волнения с использованием судовых РЛС.

В диссертационной работе на основании выполненных исследований получены следующие основные научные результаты.

1. Вместе с изменением гидрометеорологической обстановки вокруг судна меняется уровень принимаемого радиолокационного сигнала. В связи с этим при разработке способа определения параметров морского волнения необходимо учитывать изменение гидрометеорологической обстановки.

2. Разработан алгоритм, позволяющий рассчитать высоту морского волнения по уровню сигнала, отраженного в сторону РЛС от моря.

3. Разработан алгоритм определения направления фронта распространения морского волнения с помощью обработки двумерных корреляционных функций.

4. Разработан алгоритм, позволяющий рассчитать период морского волнения на основе спектрального анализа данных радиолокационного зондирования, выбранных поперек фронта распространения морского волнения.

5. Разработано устройство для определения состояния морской поверхности.

6. Использование результатов исследований, предложенных в работе, позволяет осуществлять разработку устройств, предупреждающих судоводителей об опасных сочетаниях курсовых углов и скоростей.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Работы в изданиях, определенных ВАК Минобрнауки РФ

1. Акмайкин Д. А., Пилюгин А. Г., Хоменко Д. Б. Особенность маневрирования наливных судов в зависимости от параметров груза // Эксплуатация морского транспорта: сб. науч. стат. – СПб.: Гос. мор. академ. – 2009. – № 4(58). – С. 17–21. – ISSN 1992-18181.

2. Акмайкин Д. А., Хоменко Д. Б. Совместное определение параметров цели с помощью судовой РЛС и транспондера АИС // Эксплуатация морского транспорта: сб. науч. стат. – СПб.: Гос. мор. академ. – 2010. – № 4(62). – С. 48–51. – ISSN 1992-18181.

3. Акмайкин Д. А., Хоменко Д. Б., Ключев Д. В., Фалина Е. С. Обработка радиолокационной информации программно-аппаратными средствами // Автоматизация процессов управления: науч.-техн. журн. – Ульяновск: НПО «Марс». – 2012. – № 4(30). – С. 62–66. – ISSN 1991-2927.

Свидетельства о патентах и изобретениях

4. Пат. 2510040(13) Российская Федерация, МПК51 G01S 13/00. Устройство для определения состояния морской поверхности / Хоменко Д. Б., Акмайкин Д. А.; заявитель Мор. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского; патентообладатель Мор. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского – № 2012125680/28; заявл. 19.06.2012.; опубл. 20.03.2014 – 8 с. : ил.

Монографии

5. Акмайкин Д. А., Хоменко Д. Б. Защита судовых навигационных радиолокационных станций от помех при аналоговой и цифровой обработке сигналов: монография. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – 84 с.

Другие публикации

6. Акмайкин Д. А., Хоменко Д. Б. Определение параметров морской поверхности с помощью судовой радиолокационной станции // Вестн. Мор. гос. ун-та. Сер. Судовождение. – Вып. 42/2010. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2010. – С. 48–53.

7. Акмайкин Д. А., Хоменко Д. Б. Методы интерполяции данных радиолокационного зондирования // Проблемы транспорта Дальнего Востока: Пленар. докл. 9-й междунар. науч.-практ. конф. FEBRAT-11 (5–7 октября) / ДВО Российской академии транспорта. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – С. 56–59.

8. Хоменко Д. Б. Оптимизация выбора курса движения судна в зависимости от параметров морской волны // Молодежь и научно-технический прогресс: мат-лы науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч 1. – Владивосток: ДВГТУ, 2009. – С. 376–380. – ISSN 2072-9057.

9. Хоменко Д. Б., Акмайкин Д. А. Система контроля маневрирования судна с учетом динамических параметров движения // Сб. докл. 57-й междунар. молодеж. науч.-технич. конф. «Молодежь – Наука – Инновации» (25–26 ноября). В 2 т. Т 1. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2009. – С. 49–53.

10. Хоменко Д. Б., Акмайкин Д. А. Учет динамических характеристик судов при маневрировании // Современные техника и технологии: сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т 1. – Томск: Изд-во Томск. политехнич. ун-та, 2010. – С. 280–282.

11. Хоменко Д. Б. Использование программно-аппаратных средств в обработке радиолокационной информации // Сб. докл. 58-й междунар. молодеж. науч.-технич. конф. «Молодежь – Наука – Инновации» (24–25 ноября). В 2 т. Т. 1. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2010. – С. 23–26.

12. Хоменко Д. Б. Методы цифрового определения помех судовой радиолокационной станции // Молодежь и научно-технический прогресс: матер. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1. – Владивосток: ДВГТУ, – 2011. – С. 338–343. – ISSN 2072-9057.

13. Хоменко Д. Б., Акмайкин Д. А., Лоскутов Н. В. Защита судовых навигационных радиолокационных станций от помех при аналоговой обработке сигналов // Морские исследования на Дальнем Востоке: сб. науч. тр. курсантов, студентов и молодых ученых. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – С. 29–36.

14. Хоменко Д. Б., Акмайкин Д. А. Обоснование характеристик АЦП для анализа эхосигналов РЛС // Сб. докл. 59-й междунар. молодеж. науч.-технич. конф. «Молодежь – Наука – Инновации» (23–25 ноября). В 2 т. Т. 1. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – С. 26–29.

15. Хоменко Д. Б., Акмайкин Д. А. Обзор современных рекомендаций штурманской службе по управлению судном на волнении // Сб. докл. 60-й междунар. молодеж. науч.-технич. конф. «Молодежь – Наука – Инновации» (17–18 сентября). В 2 т. Т. 1. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. – С. 48–51.

16. Хоменко Д. Б., Акмайкин Д. А. Обзор траекторий маневрирования судов различных типов на глубокой воде и мелководье [Электронный ресурс] // Вестн. инженер. шк. ДВФУ. – Владивосток: ДВФУ. – 2012. – № 4 (13) – С. 79–82. – ISSN 2227-6858.

17. Хоменко Д. Б. Методы определения параметров морского волнения с помощью судовой радиолокационной станции // Сб. докл. 61-й междунар. молодеж. науч.-технич. конф. «Молодежь – Наука – Инновации». – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. – С. 18–20.

18. Ярошук В. В., Хоменко Д. Б. Плюсы и минусы обнаружения соседних судов с помощью РЛС и АИС // Сб. докл. 57-й междунар. молодеж. науч.-технич. конф. «Молодежь – Наука – Инновации» (25–26 ноября). В 2 т. Т. 1. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2009. – С. 58–62.

19. Akmaykin D., Khomenko D. Use of Ships Radar for Improvement of Navigation in Rough Sea Condition // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): Proceedings. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, Russia. (September 15–16) 2011. – P. 147–148.

Хоменко Дмитрий Борисович

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ СУДОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уч.-изд. л. 1,0.

Формат 60 × 84/16

Тираж 100 экз.

Заказ №

Отпечатано в типографии МГУ им. адм. Г. И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а