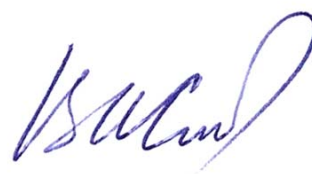


На правах рукописи



Жибоедов Вячеслав Владимирович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛЫХ МОРСКИХ СУДОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ РИСКА

Специальность: 05.08.03 – Проектирование и конструкция судов

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО "Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева".

- Научный руководитель: **Грамузов Евгений Михайлович**
доктор технических наук, доцент
- Научный консультант **Раков Алексей Иванович**
доктор технических наук, профессор
- Официальные оппоненты: **Роннов Евгений Павлович**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Волжский государственный
Университет водного транспорта»,
г. Нижний Новгород, заведующий кафедрой
проектирования и технологии постройки судов
- Ярисов Владимир Владимирович,**
кандидат технических наук, доцент,
«Балтийский федеральный университет им. Иммануила
Канта», г. Калининград, доцент
- Ведущая организация: ФГБОУ ВО Калининградский государственный техниче-
ский университет, г. Калининград

Защита состоится «21» декабря 2017 года в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д212.165.08 при ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д.24, корп.1, ауд. 1315.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» по адресу: <http://www.nntu.ru/content/aspirantura-i-doktorantura/dissertacii>

Автореферат разослан « » 2017 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



Грамузов Евгений Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Проблемы обеспечения высокой безопасности плавания морских судов требуют непрерывного совершенствования, как методов проектирования новых типов судов, так и всемерного улучшения качества их эксплуатации. Развитие портового и промыслового хозяйства в первую очередь будет зависеть от развития её портовой структуры, частью которой являются малые морские суда (ММС) различного назначения, к которым относятся портовые буксиры, малые пассажирские суда, рабочие и водолазные суда, лоцманские катера и промысловые суда различного назначения. По данным классификационных обществ "Регистр судоходства РФ" и "Регистр судоходства Украины" численность судов дедвейтом более 100 тонн составляет более 3000 единиц, это - те суда, которые официально внесены в Регистровые книги классификационных обществ.

Регистр также осуществляет надзор за маломерным флотом страны – судами, дедвейт которых менее 100 тонн – их на РФ насчитывается около 50 – 60 тысяч единиц, и численность с каждым годом увеличивается, в основном, за счёт появления судов прогулочного класса. Однако, и крупные суда, и малые имеют достаточно большой срок эксплуатации и технически уже устарели.

Данное обстоятельство привело к обострению экономических, социальных и других проблем, отрицательно повлияло на состояние продовольственного обеспечения населения государства и особенно в традиционных центрах рыбного хозяйства Российской Федерации. В сложившейся ситуации развитие малотоннажного флота рыбной промышленности является наиболее рациональным выходом. Причем, это касается не только промысловых судов, но и развития судов другого назначения, а именно, круизного, прогулочного и малого обслуживающего флота, требования к которым по безопасности аннотационным требованиям, предъявляемым к промысловым судам при эксплуатации.

С развитием курортного бизнеса возникает необходимость проектирования ММС ограниченного района плавания для обеспечения местных перевозок грузов и пассажиров в приморских городах, а так же развития системы экологического контроля и мониторинга. При этом маломерный флот, а именно, суда с длиной корпуса от 10 до 45 метров в основном будут эксплуатироваться малыми и средними предприятиями, которые не имеют больших финансовых возможностей строить крупные суда. И поэтому очень важно обеспечить снижение стоимости постройки судна, как на стадии проектирования, так и на стадии строительства за счет серийности постройки.

Учитывая сказанное, особенно важно, в первую очередь, обеспечить высокую степень безопасности при эксплуатации ММС, работающих в прибрежных районах плавания уже на стадии эскизного проектирования.

Цель работы. Совершенствование теоретических основ проектирования ММС ограниченных районов плавания с использованием принципов теории риска на анализе наиболее общих факторов, оказывающих влияние на мореходные качества и характеристики судна и выработка практических решений повышения надёжности и безопасности малых морских судов при эксплуатации на начальных стадиях проектирования.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Определение общих условий эксплуатации ММС и оценка их влияния на уровень безопасности на основе анализа причин аварийности.
2. Разработка метода оценки возникновения рискованного события при эксплуатации ММС на основе формальной оценки безопасности.
3. Исследование особенностей остойчивости ММС различного назначения и определение проектных и практических методов её повышения.
4. Анализ основных особенностей определения характеристик и мореходных качеств ММС с учетом обеспечения необходимого уровня безопасной эксплуатации.
5. Определение основных особенностей проектирования ММС на основе теории риска.

Объектом научного исследования являются малые морские суда различного назначения, которые имеют ограничения по районам и сезонам плавания.

Предметом научного исследования являются методы проектирования малых морских судов ограниченных районов плавания и количественная оценка риска возникновения аварийной ситуации.

Методы исследования. Поставленные в диссертации задачи и проведенные исследования решены с использованием теоретических и практических методов проектирования судов на начальных этапах, системного подхода к исследованиям, экономико-математических методов оценки вероятности возникновения аварийной ситуации на основании теории риска и, в том числе, метода формальной оценки безопасности. Анализ статистического материала выполнен с использованием методов математической статистики. Работа содержит положения по усовершенствованию методов проектирования на начальных стадиях в отношении малых морских судов, эксплуатирующихся в условиях прибрежного плавания и ограниченных районов эксплуатации, путём использования риск-ориентированных методов.

Научная новизна. В итоге проведенных в работе исследований получен ряд новых научных результатов:

- впервые предложен формализованный метод оценки возникновения рискованного события при эксплуатации малых морских судов на основе положений по общей теории риска;
- выполнен анализ влияния различных характеристик малых морских судов на показатели остойчивости;

- предложен формализованный метод оценки риска возникновения аварийной ситуации с ММС, основанный на характеристиках устойчивости проектируемого судна;

- разработана методика проектирования ММС на основе совместного использования метода аффинных преобразований и дифференциального способа проектирования на начальных стадиях;

- предложены статистические зависимости значений главных размерений малых морских судов для определения их на начальных стадиях проектирования;

- впервые предложен способ оценки устойчивости ММС на основе значений критериев погоды и применения методов теории риска.

Основные положения, выносимые на защиту:

- методика пересчёта ДСО проектируемого судна, повышающая точность расчётов путём совместного использования метода аффинных преобразований и дифференциального способа определения характеристик судна;

- статистические зависимости для определения главных размерений на начальных этапах проектирования ММС различного назначения;

- метод проектирования ММС с использованием проектного модуль-корпуса судна, который позволяет получать характеристики судна, используя корпус прототипа;

- метод оценки наступления рискованного события при эксплуатации ММС, и нормирование характеристик районов плавания по величине диаграммы статической и динамической устойчивости с определением величины риска возникновения аварийной ситуации.

Практическая значимость. Практическое значение результатов диссертационной работы состоит в разработке методики оценки уровня безопасности проектируемого судна на основе оценки устойчивости судна и способы повышения устойчивости на начальных стадиях проектирования. Впервые задача проектирования малых морских судов исследована с позиции комплексного обеспечения высокого уровня безопасности эксплуатации, определены основные факторы, которые существенно влияют на безопасность малых морских судов. Предложены практические рекомендации по использованию полученных зависимостей при проектировании малых морских судов. Результаты могут быть использованы в проектно-конструкторских и научно-исследовательских организациях при проектировании новых малых судов. На основе анализа существующих разработок выстроена система оценки безопасности судна с использованием теории риска, и предложен способ определения уровня безопасности малого морского судна в зависимости от принятого заказчиком решения по запасу устойчивости.

Прикладное значение полученных результатов заключается в том, что разработанный комплекс методов и методик проектирования малых морских судов

может быть использован в программных комплексах и использоваться при реализации проектов малых морских судов хозяйственного назначения для ограниченных районов плавания.

Внедрение. Результаты работы использованы при выполнении госбюджетной научно-исследовательской работы "Разработка метода оценки остойчивости малых морских судов на основе использования теории риска", выполненной на кафедре "Океанотехника и кораблестроение".

Результаты работы внедрены в Севастопольском государственном университете и используются в учебном процессе при проведении занятий по курсу «Особенности проектирования малых морских судов», а так же при написании автором учебного пособия "Особенности проектирования малых морских судов", и учебного пособия в соавторстве "Основы проектирования судов и плавучих сооружений. Часть 1. Определение основных элементов и главных размеров проектируемого судна" для студентов направления подготовки 26.03.02 "Кораблестроение, океанотехника, системотехника объектов морской инфраструктуры" и специальности 26.05.01 "Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники" и при выполнении курсовых, дипломных проектов и научно-исследовательских работ студентов.

Достоверность. Результаты исследований базируются на данных аварийной статистики малых морских судов, а используемые в диссертации методы основываются на широко известных в теории проектирования судов научных положениях. Обоснованность научных положений и достоверность выводов базируется на выполненных и представленных в работе расчётных моделях. Предложенные методы оценки вероятности возникновения аварийной ситуации качественно верно влияют на выбор основных элементов и характеристик малых морских судов при проектировании на начальных стадиях.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены и получили положительную оценку на международных и межвузовских научно-технических конференциях: "Безопасность мореплавания и её обеспечение при проектировании и постройке судов" (г. Николаев, 2007 г.); "Менеджмент малого и среднего бизнеса: эффективность, конкурентоспособность, устойчивость" SBM-2009 (г. Севастополь, 2009 г.); "Эффективная и безопасная эксплуатация морских судов и сооружений" (г. Севастополь, 2009 г.); "Иновации в судостроении и океанотехнике" (г. Николаев, 2010, 2011 г.); "Актуальные проблемы судоходства, судостроения и судоремонта" (г. Одесса, 2011 г.); "Современные технологии проектирования, построения, эксплуатации и ремонта судов, морских технических средств и инженерных сооружений" (г. Николаев, 2012, 2013г.), "Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений" (г. Севастополь, 2015, 2016 г.); "Будущее технической науки"

и "Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и технике" (г. Нижний Новгород, 2016 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 14 печатных работ, в том числе 3 статьи в сборниках научных трудов, рекомендованных ВАК Украины для опубликования материалов диссертационных исследований.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Основной материал изложен на 167 страницах машинописного текста, содержит 43 таблицы и 58 рисунков, 202 наименования списка литературы, пяти приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, новизна и практическая ценность полученных результатов, а также методы, применяемые в процессе работы.

В первой главе рассмотрены задачи, которые решаются при эксплуатации ММС различного назначения. Проанализированы основные направления развития малого флота в портовых государствах. Рассмотрена классификация судов и особенности эксплуатации наиболее многочисленных групп малых судов в условиях прибрежного мелководья. На основе этого проанализирована аварийность ММС в различных странах, имеющих значительный по численности флот малых судов.

Анализ статистики аварийности и широкий круг научных работ, посвященных этой проблеме за последние десятилетия, показал, что качество всей структуры обеспечения безопасности мореплавания оценивается именно по показателям аварийности судов.

Рост аварийной статистики способствует несколько причин. Первой причиной можно считать аварии с физически устаревшими судами, которые не отвечали современным требованиям по оснащению сигнальными средствами и средствами контроля за состоянием судна во время рейса. Второй причиной аварий является невыполнение требований норм и требований классификационных обществ при эксплуатации экипажем судов и портовых служб. Третья причина - это влияние внешних факторов, связанных с особенностями эксплуатации тех или иных типов ММС в удалённых районах плавания.

В связи с этим, во многих работах различных исследователей рассматривается и анализируется статистика аварийности морских судов с целью определения способов и методов для её снижения посредством введения новых норм эксплуатации судов, внесения корректировок и совершенствования норм проектирования новых судов.

Наиболее показательная статистика приведена в работе М.Н. Александрова, Л.Р. Аксютина, С.Н. Благовещенского и др. авторов, а также в отчетах различных агентств, обеспечивающих контроль за безопасностью эксплуатации судов в море.

Приведенный анализ статистики аварийности даёт право утверждать, что наиболее опасным видом аварий, на сегодняшний день, остаётся потеря устойчивости судов по различным причинам с практически полной потерей судна и 100% гибелью экипажа. В разделе сделан обзор работ и исследований, посвящённых изучению причин аварийности её оценке и анализу, а также способам и методам проектирования малых морских судов.

На основе рассмотренных исследований по вопросам проектирования малых судов, статистики аварийности и особенностям эксплуатации сформулирована общая постановка задачи исследования.

Второй раздел посвящен рассмотрению методологии обеспечения надёжности и безопасной эксплуатации проектируемого судна на основе применения теории риска. Проблемы применения теории риска в судостроении пока не нашли широкого отражения в отечественной технической литературе. Научные исследования в этой области пока не носят систематического характера.

Вместе с тем достижения отечественных научных школ в области теории надёжности и обеспечения безопасности сложных технических объектов нашли своё отражение в многочисленных научно-практических трудах, посвященных проектированию плавучих инженерных сооружений.

В рамках исследований по повышению безопасности и безаварийной эксплуатации судов Международной морской организацией (ИМО) был разработан и опубликован в 2007 году Консолидированный текст Руководства по принципам Формальной оценки безопасности (ФОБ) для использования при создании правил ИМО. Однако в данном документе не даются конкретные рекомендации по критериям риска для каждого из существующих типов судов, и поэтому данный документ является некоторой системой правил и рекомендаций, придерживаясь которых, при проведении исследований по безопасности той или иной группы судов, можно получить ответ на вопрос о степени безопасности судна.

Существующая ФОБ в её классическом виде включает в себя пять этапов: определение потенциально опасных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации судна; оценка уровня риска для опасностей, определённых на первом этапе; анализ причин и частота проявления, определение уровней допустимости риска; вариантов его контроля, определение путей уменьшения риска и оценка финансовых затрат на мероприятия по уменьшению риска; выработка окончательных рекомендаций по уменьшению риска по одной или нескольким опасностям. Использование данной методики позволит создать новый подход к

определению главных элементов и характеристик ММС с учётом влияния неблагоприятного внешнего воздействия на ММС во время эксплуатации.

В отношении проектирования ММС, это позволило:

- построить так называемое «дерево опасностей», являющихся основными причинами гибели малых судов от потери остойчивости (см. рис. 1);
- построить матрицу риска, позволяющую определить уровень риска и возможный объём улучшения остойчивости малого судна с учётом финансовых возможностей заказчика на ранних этапах проектирования;
- выполнить оценку риска ранее разработанных проектов ММС на основе полученной матрицы риска;
- внести корректировки в методологию проектирования с учётом выявленных в процессе исследования основных особенностей ММС, связанных с условиями эксплуатации.



Рис. 1. Дерево опасностей для ММС

Основным источником для формирования базы опасностей являлись зарегистрированные в официальных контролирующих организациях протоколы аварий. Однако даже в таких органах информация об аварии не бывает достаточно полной и достоверной, а чаще всего, по отношению к ММС, может отсутствовать вовсе. Поэтому были сформировано множество возможных сценариев развития событий, которые могут повлиять на аварию и, впоследствии проанализированы методами теории риска. Полученные результаты анализа по отдельным случаям объединялись в группы по одинаковым признакам, на этой основе, возможно сформулировать мероприятия для сни-

жения уровня риска при эксплуатации существующих судов, совершенствовать нормативную базу для проектируемых судов.

Зависимость для количественной оценки риска можно представить в виде $R = P \cdot C$, где R – расчетная величина риска; P – вероятность воздействия опасности или наступления рискованного события; C – последствия от воздействия опасности или величина потерь. Для расчета риска в стоимостном выражении используется выражение в виде $R = P \cdot C = \sum P_i (\sum a_{ik} \cdot C_k)$, где i – относится к категории опасности; k – категория ущерба или потерь; C_k – стоимость k -го последствия аварии; a_{ik} – весовой коэффициент k -го последствия при воздействии i -й опасности (изменяется от 0 до 1). Величина изменения риска $\Delta R = R_0 - R_1$, где R_0, R_1 – выражают стоимостную оценку риска до и после принятия мер по снижению риска соответственно. Условие приемлемости мероприятий по снижению риска аварий, суммарной стоимостью Z , можно выразить в виде неравенства $Z < \Delta R$, где $Z = \sum Z_j$ – зависимость, используемая при расчете стоимости мероприятий по снижению риска; j – индекс категории принятых мероприятий.

При выполнении анализа аварий, произошедших в период с 1992 по 2010 год, представленных протоколами разбора Marine Accident Investigation Branch (МАИВ) в количестве 33 аварий ММС ограниченных районов плавания, были идентифицированы несколько групп характерных типов аварий, связанных с определенными опасностями при их эксплуатации. На основе этого анализа и статистических данных, приведенных в работе М.Н. Александрова, наибольшие потери относятся к категории опрокидывание судов, равное 49%, то есть практически опрокидывалось каждое второе судно.

Исходя из этого, в приведенных в разделе расчетах была вычислена вероятность возникновения опасности или наступления рискованного события. Величина риска в стоимостном выражении при опрокидывании ММС, как наиболее опасном случае, выражается $R_3 = P_3 (\sum a_{3k} \cdot C_k)$, где C_k - в этом случае обозначает потери стоимости судна при опрокидывании. Основываясь на этих расчетах, можно утверждать, что наиболее дорогими, в плане потерь, авариями являются опрокидывание ММС, которые в большинстве случаев приводят к потере человеческих жизней, экологическим последствиям и экономическим потерям (потеря груза и судна). В соответствии с классификацией тяжести последствий аварии, потерю остойчивости можно отнести к серьезным или катастрофическим авариям.

Третий раздел посвящен анализу действующих норм и оценке основных характеристик остойчивости для малых морских судов.

Практика эксплуатации морских судов показывает, что наиболее уязвимыми, с точки зрения безопасности плавания, являются ММС ограниченных районов плавания длиной до 45 м и водоизмещением до 1000 тонн. Причем с увеличением размеров морских судов число погибших судов резко сокращается

и является исключением из правил, так как основными причинами аварийности в этом случае, являются нарушения правил эксплуатации. Что же касается ММС ограниченных районов плавания ситуация складывается более тяжелая, так как гибель почти каждого 2-го или 3-го судна из общего числа погибших, происходит по причине опрокидывания.

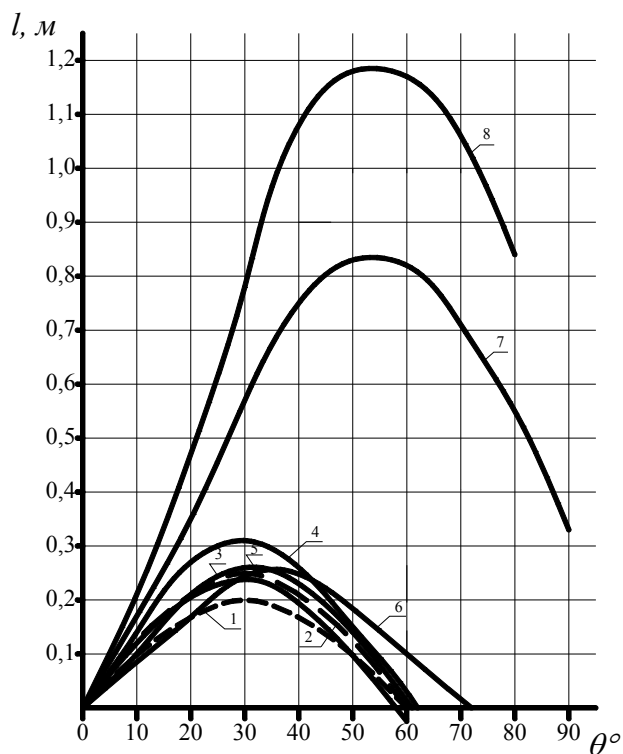
Оценка остойчивости морских судов выполняется по Правилам, принятым классификационными обществами в той или иной стране. В большинстве своём, эти Правила опираются на принятые международные документы, а именно, Кодекс остойчивости неповреждённых судов различных типов, на который распространяются документы ИМО (принятый в 1993 году, Резолюция А.749(18)).

В результате анализа существующих норм и Правил по оценке остойчивости в отношении ММС можно отметить, что некоторые критерии в Правилах Регистра судоходства РФ изложены более жёстко по сравнению с кодексом ИМО. Это относится, например, к максимальному плечу диаграммы статической остойчивости (l_{\max}), согласно Правилам Регистра значение плеча должно быть не менее 0.25 м для судов длиной $L \leq 80$ м, а согласно Кодексу ИМО значение плеча равно 0.20 м при угле крена $\theta \geq 30^\circ$. Ряд требований в Правилах Регистра РФ существенно отличаются от международных требований. Так, ветростойкость у малого морского судна не следует рассматривать как меру его безопасности, так как при сильном ветре большая часть площади парусности малого судна экранируется волнами и при этом центр парусности ММС располагается близко к ВЛ, в связи с чем давление ветра соответственно значительно уменьшается. С другой стороны такие факторы, как удары волн, заливание палубы водой, значительное снижение остойчивости на попутном волнении, захват попутной волной и разворот судна с последующим накрениением на значительные углы, оказываются более опасными для малых судов и должны обязательно учитываться при нормировании.

Что же касается требований Правил к диаграмме статической остойчивости (ДСО), то необходимо отметить, что реальные проекты судов, как правило, имеют диаграммы значительно превышающие минимально допустимую ДСО. Можно также отметить, что промысловые суда, построенные в СССР имели ДСО выше требований Правил Регистра, однако ДСО некоторых проектов траулеров (Траулер № 1, Малый траулер № 3), построенных в Швеции для эксплуатации в Северном море, имеют значения существенно выше не только по значению l_{\max} , но также и по значению величины угла заката ($\theta_{\text{зак}}$), стремящемуся к 90° . Этот пример наглядно демонстрирует стремление проектировщиков не только увеличить максимальную ординату l_{\max} при $\theta^\circ \geq 30^\circ$, но и существенно увеличить закат диаграммы $\theta^\circ \geq 60^\circ$. Принимаемые в этом случае меры обычно не приводят к существенному увеличению строительной стоимости постройки судна.

В работе приведены сравнительные данные по характеристикам ДСО различных классификационных организаций и обществ, принятые для ММС в раз-

личных странах в сравнении с критериями ДСО, предложенными ИМО. Можно отметить, что минимальная площадь $S_{ИМО}$ диаграммы статической остойчивости практически признаётся без изменений большинством КО. На рисунке 2 представлены ДСО ряда рыболовных судов и нанесена минимальная диаграмма, согласно Кодексу ИМО.



1 – Требования ИМО; 2 – Требования ПРМРС РФ 2016г; 3 – СЧС: $L_{nn} = 22,0\text{м}$, $B = 5,6\text{м}$, $\Delta = 98,9\text{т}$; 4 – МРС-80: $L_{nn} = 16,5\text{м}$, $B = 4,8\text{м}$, $\Delta = 58,0\text{т}$; 5 – МПС «Аркадия»: $L_{nn} = 21,0\text{м}$, $B=4,4\text{м}$, $\Delta = 54,2\text{т}$; 6 – МПС «Алмаз»: $L_{nn} = 39,6\text{м}$, $B = 10,6\text{м}$, $\Delta = 819\text{т}$; 7 – Траулер «Канада»: $L_{nn} = 39,6\text{м}$, $B=10,6\text{м}$, $\Delta = 819\text{т}$; 8 – БМРТ «Лесков»: $L_{nn} = 75,0\text{м}$, $B=13,8\text{м}$, $\Delta = 3451\text{т}$.

Рис. 2. Диаграммы статической остойчивости рыболовных судов

Сравнение площадей диаграмм показывает, что малые суда имеют и малые запасы по площади ДСО, т.е. труднее всего обеспечить динамическую остойчивость для малых морских судов. Если учесть, что мерой динамической остойчивости является работа восстанавливающего момента судна, и для заданного

угла крена θ° в общем виде она будет равна $A_\theta = \int_0^\theta M_\theta d\theta$, где $M_\theta = \Delta \int_0^\theta l_\theta d\theta$ - вос-

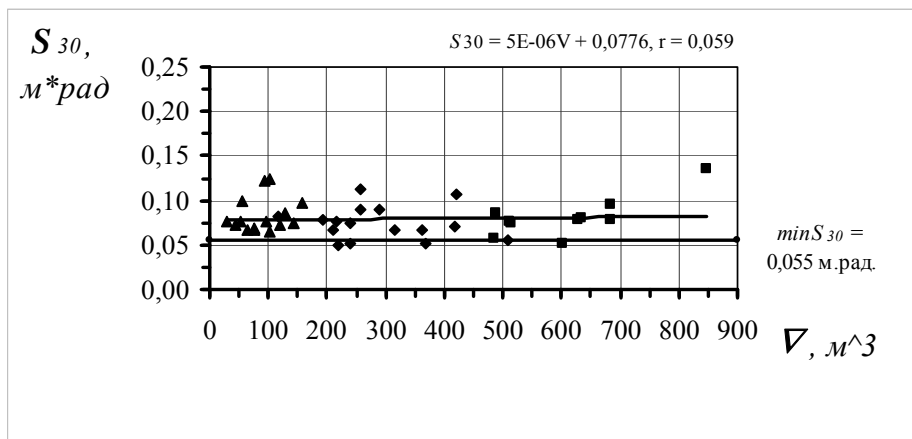
станавливающий момент судна; l_θ - плечо статической остойчивости. Таким образом, нормируемая площадь ДСО в Кодексе ИМО от 0° до 40° , равная $S_{\min} = 0,09\text{ м рад.}$, определяет минимально допустимую величину динамической остойчивости судна при условии, что угол крена при этом соответствует углу

заливания θ_f , а именно, $A_{\theta_f} = \int_0^{\theta_f} M_\theta d\theta$ при $S_{\min} = \int_0^{40^\circ} l_\theta d\theta \geq 0,09\text{ м рад.}$ В связи с этим,

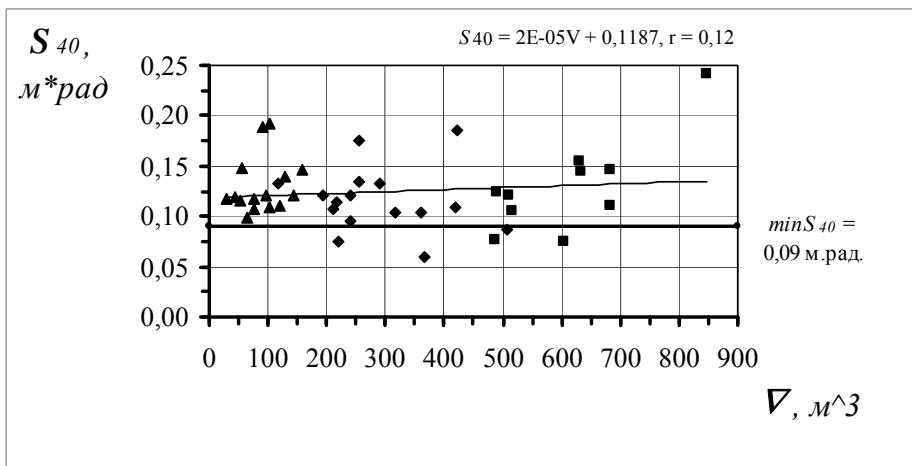
в работе проанализированы ДСО аварийных и неаварийных малых морских судов различного назначения. В приложении В к диссертационной работе приведены характеристики остойчивости ряда ММС различного назначения. Часть этих судов были построены крупными сериями и эксплуатировались длительное время без аварий, связанных с потерей остойчивости. Для выполнения количественного

сравнительного анализа в общий список были добавлены промышленные суда иностранной постройки: Японии, Англии, Канады и Исландии. Всего в исследуемой группе 41 судно. Анализ выполнен на основе функциональной зависимости $S_i = f(\nabla)$ при значениях площади ДСО от 0° до 50° (S_{30} , S_{40} , S_{40-30} , S_{50}), приведенных на рисунке 3 (а, б, в, г).

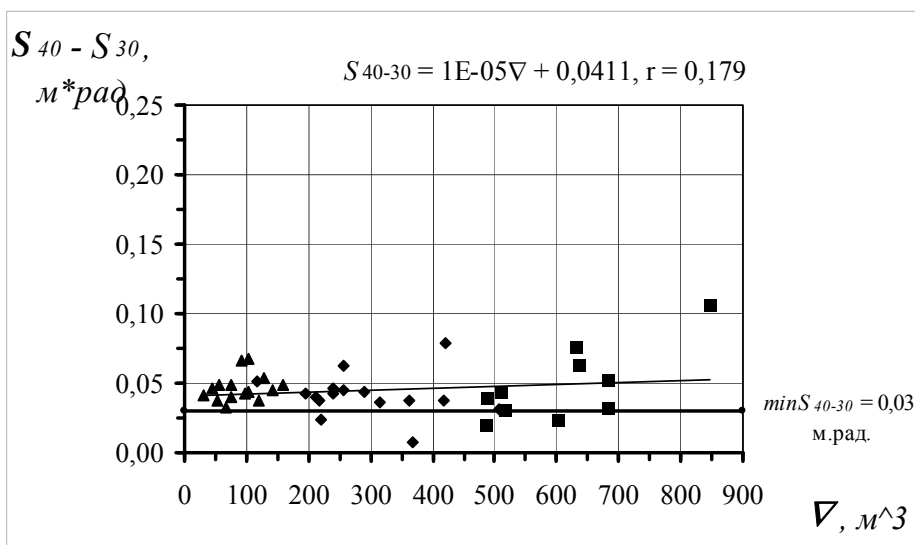
а) распределение площади ДСО от 0° до 30°



б) распределение площади ДСО от 0° до 40°



в) распределение площади ДСО $40^\circ - 30^\circ$



г) распределение площади ДСО от 0° до 50°

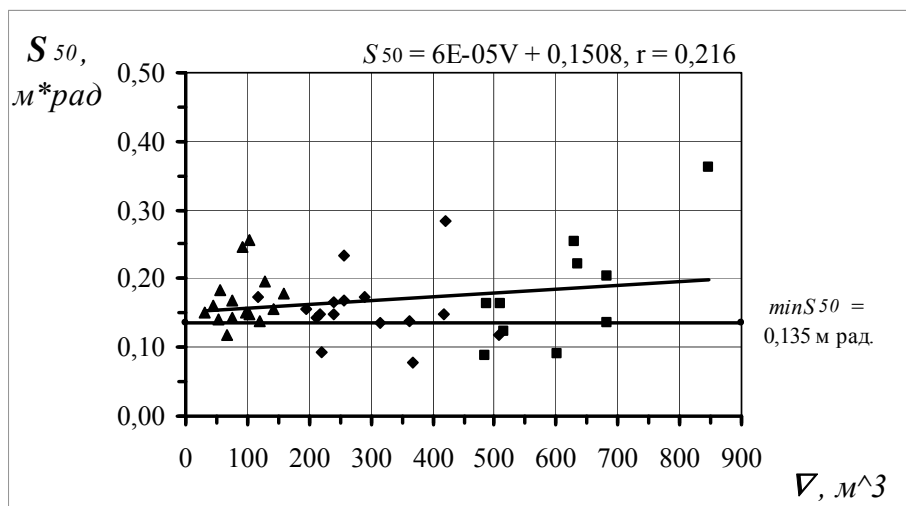


Рис. 3. Нормативные требования Правил РМРС к ДСО

■ - 1-я группа $L = 35-45$ м; ◆ - 2-я группа $L = 24-35$ м; ▲ - 3-я группа $L = 12-24$ м

В результате проведённого анализа значений площадей ДСО в функции объёмного водоизмещения можно отметить, что для значений S_{30° , S_{40° и $S_{40^\circ-30^\circ}$ линии регрессии имеют практически нулевой наклон к горизонтали, т.е. влияние значения водоизмещения на площадь ДСО практически отсутствует. Однако для площадей S_{50° и S_{60° картина меняется, и влияние водоизмещения начинает оказывать заметное влияние на площадь ДСО. Часть судов, которые оказались ниже границы требований классификационного общества, в большинстве были спроектированы под требования своих классификационных обществ и требований – это относится, в основном, к судам японской постройки. Однако необходимо отметить, что некоторая часть судов имела более высокие значения площадей, чем установленные Правилами классификационных обществ, практически в два раза.

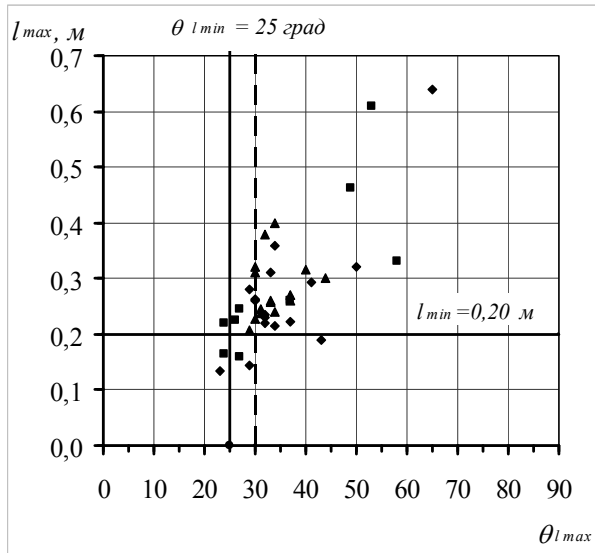
Аналогичному анализу подверглись и значения плеч статической остойчивости (см. рис. 4), метацентрическая высота и значения критериев погоды (см. рис. 5).

Критерий погоды рассматривался для различных районов плавания и согласно Правилам Регистра судоходства для морских судов, для рыболовных судов 2005 года и для прогулочных судов 2012 года.

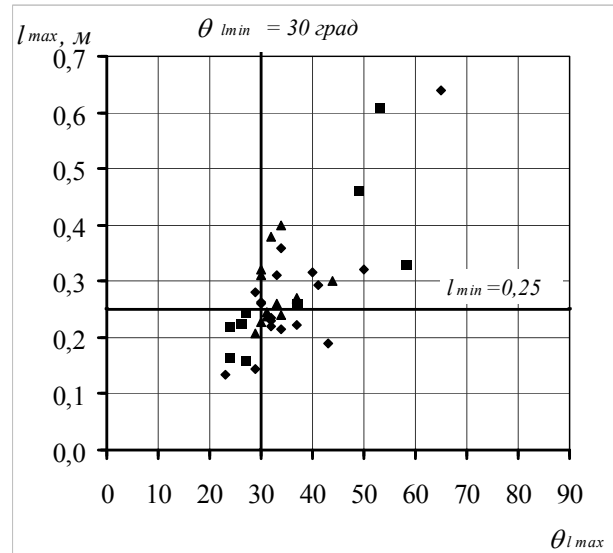
В качестве вывода по статистическим распределениям $l_{\max} = f(\theta^\circ)$, можно отметить, что требования по углу крена для рыболовных судов $\theta^\circ \geq 35^\circ$ являются наиболее сложно выполнимой задачей.

Анализ приведенной статистической выборки для ММС по критериям погоды, показал, что практически все суда удовлетворяют требованиям Правил Регистра, как для судов ограниченного района плавания R1 и R2.

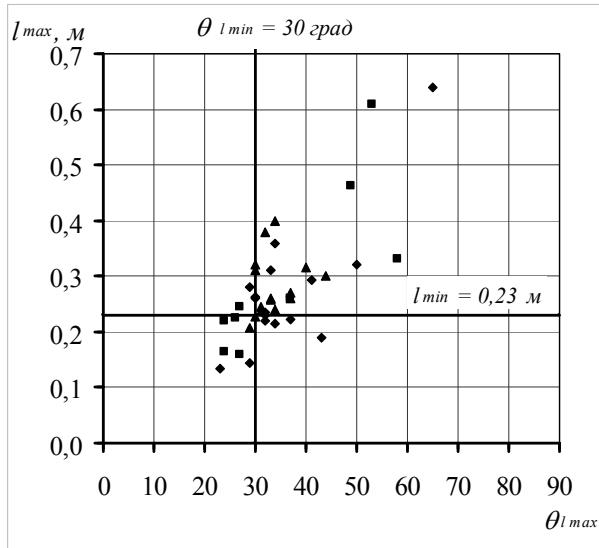
а) требования Кодекса ИМО



б) требования Правил Регистра РФ



в) требования Правил Регистра РФ малых морских рыболовных судов 1 группы



г) требования Правил Регистра РФ малых морских рыболовных судов 2 группы

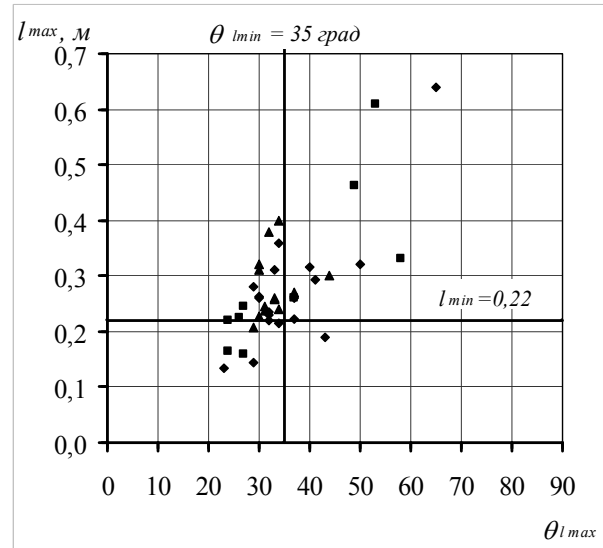
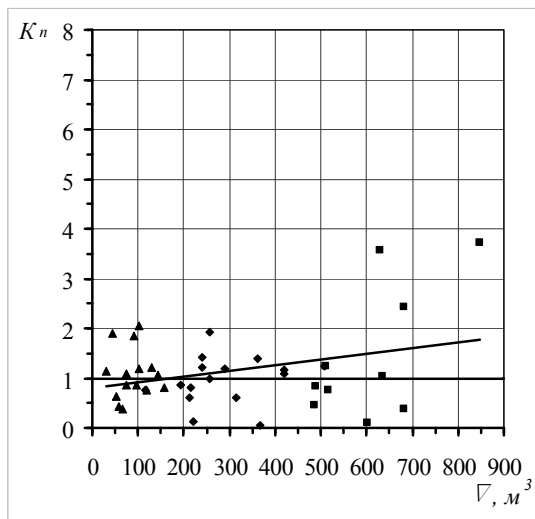


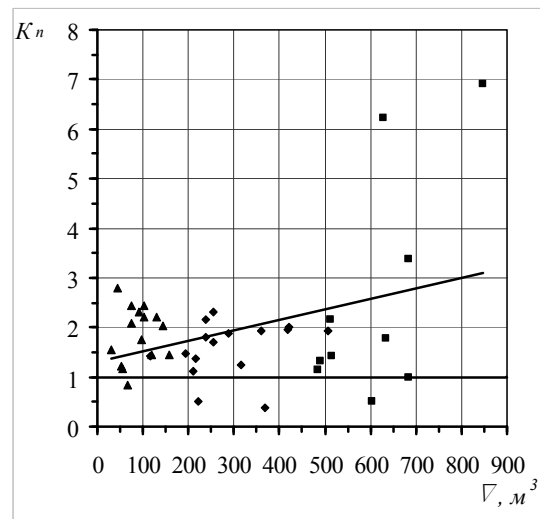
Рис. 4. Статистическое распределение значений функции $l_{max} = f(\theta^\circ)$

■ - 1-я группа $L = 35-45$ м; ◆ - 2-я группа $L = 24-35$ м; ▲ - 3-я группа $L = 12-24$ м

а) неограниченный район плавания



б) ограниченный район плавания R1



в) ограниченный район плавания R2

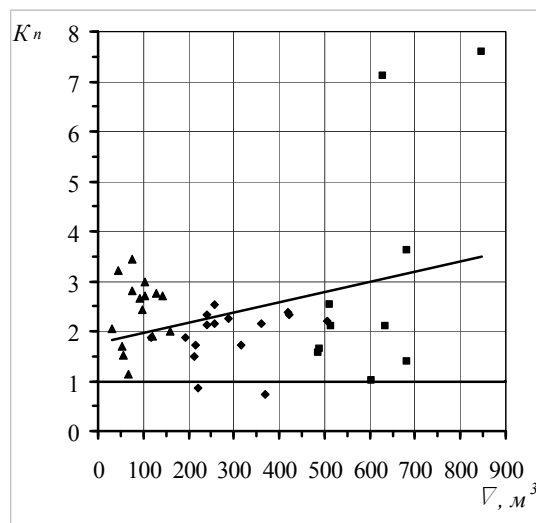


Рис. 5. Статистическое распределение по критерию погоды $K_n = f(\nabla)$
 ■ - 1-я группа $L = 35-45$ м; ◆ - 2-я группа $L = 24-35$ м; ▲ - 3-я группа $L = 12-24$ м

Необходимо отметить, что основное количество ММС эксплуатировалось именно в этих районах. Что же касается ММС для неограниченного района плавания, то, с позиции обеспечения остойчивости, такая задача разрешима при условии обеспечения других требований, особенно по обеспечению обитаемости экипажа. При рассмотрении Правил для прогулочных судов необходимо отметить, что требования по критерию погоды, с учетом разрушающего волнения, более жёсткие, по сравнению с критерием погоды Правил Регистра для морских судов издания 2016 года.

Четвёртый раздел посвящен вопросам обеспечения остойчивости при проектировании ММС.

Постановка задачи. Опыт эксплуатации судов и его анализ, выполненный в предыдущем разделе, показывает, что наибольшее количество погибших судов от потери остойчивости остаётся за малыми морскими судами. В большинстве случаев это объясняется низкой квалификацией экипажей или попаданием малых морских судов в условия более жёсткие, чем предусмотрено Правилами, особенно по ветровым нагрузкам и волнению. Естественным выходом для проектировщиков данного типа судов является путь улучшения остойчивости – за счёт увеличения самой диаграммы статической остойчивости в функции основных характеристик судов, при условии их малых изменений. Но при этом необходимо стремиться к тому, чтобы строительная стоимость судна, имела незначительное увеличение, так как судовладельцами малых морских судов обычно являются предприниматели малого и среднего бизнеса, которые не в состоянии вкладывать единовременно крупные капиталовложения при покупке новых судов.

Выполним ранжировку влияния основных характеристик проектируемого судна на остойчивость при больших углах крена с последующим улучшением диаграммы статической остойчивости при малых изменениях независимых переменных. При этом необходимо учитывать требования к точности выполняемых

расчетов, так как здесь мы сталкиваемся с малыми разностями больших величин, а именно: выразим плечо статической остойчивости как

$$l = l_{\phi} - l_{\epsilon}, \text{ или } l = \underbrace{y_c \cdot \cos \theta + (z_c - z_{c0}) \cdot \sin \theta}_{l_{\phi}} - \underbrace{a \cdot \sin \theta}_{l_{\epsilon}}, \text{ т. е. } l = l_{\phi} - l_{\epsilon} \geq 0.25 \text{ м. при } \theta \geq 30^{\circ}$$

Следовательно, если $l_{\max} = 0.25$ м, то при 5% инженерной точности определения, ошибка должна составлять ± 12 мм, что при сегодняшних методах расчётов не всегда может обеспечить даже теория корабля. Исходя из изложенного, для определения плеча статической остойчивости l_{θ} целесообразно использовать метод аффинных преобразований для пересчёта ГЧ судна-прототипа на чертеж проектируемого судна, учитывая, что он даёт точный пересчёт в функции главных размерений. Но при этом необходимо учитывать, что этот метод работает только при условии постоянства коэффициентов полноты корпуса и $D/d = \text{Const}$, что не всегда приемлемо при проектировании. Тогда определение изменения величины $dl = f(C_b, C_w, k, \zeta)$ можно выполнить дифференциальным методом в виде $dl_{\text{диф}} = \frac{\partial l}{\partial C_b} dC_b + \frac{\partial l}{\partial C_w} dC_w + \frac{\partial l}{\partial k} dk + \frac{\partial l}{\partial \zeta} d\zeta$, где C_b - коэффициент общей полноты; C_w - коэффициент полноты ватерлинии; $k = 1 + (V_H/V)$ - условный коэффициент седловатости; $\zeta = z_g/D$ - коэффициент, характеризующий положение центра тяжести судна по высоте.

Отметим, коэффициенты полноты, особенно при наличии близких судов-прототипов, обычно имеют малые изменения и, следовательно, дифференциальный метод в этом случае даёт достаточно высокую точность. Таким образом, плечо статической остойчивости проектируемого судна определим как $l = l_{\text{аф}} + dl_{\text{диф}}$, где $l_{\text{аф}}$ - плечо статической остойчивости при аффинных преобразованиях теоретического чертежа; $dl_{\text{диф}}$ - приращение плеча статической остойчивости при использовании дифференциального метода. Составляющие дифференциального уравнения типа $\partial l / \partial x_i$ можно представить в виде непрерывных кривых, характер изменения которых был проанализирован на примере сейнера РС-300 и представлен на рисунке 6.

Особенности изменения частных производных:

а) $\partial l / \partial C_w$ - положительна в диапазоне θ° от 0° до 52° , следовательно, значение C_w целесообразно увеличивать, и тогда величина dl_{C_w} будет расти, особенно в районе от 10° до 40° с максимумом в районе от 15° до 35° . Но чрезмерное увеличение C_w может привести к резкому увеличению сопротивления движению корпуса судна, что необходимо учитывать при принятии окончательного решения.

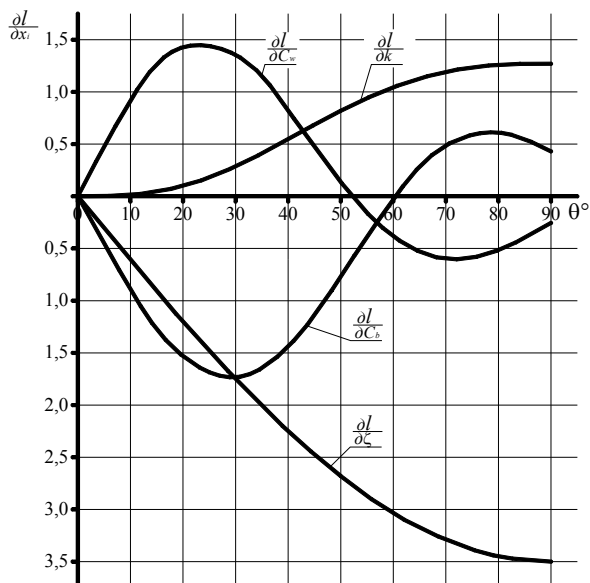


Рис. 6. Графики частных производных типа $\frac{\partial l}{\partial x_i}$ для сейнера пр. 388 РС-300

ния коэффициента продольной полноты φ , что также положительно сказывается на снижении полного сопротивления корпуса судна, кроме этого, корпус становится более килеватым, что приводит к более плавной качке на волнении. Необходимо отметить, что увеличение C_B приведёт и к увеличению водоизмещения судна.

в) $\frac{\partial l}{\partial k}$ - имеет положительное значение в диапазоне от угла входа палубы в воду до 90° , следовательно, увеличение седловатости корпуса и развитие надстроек увеличивают значение k , а вместе с ней будет расти и значение dl_k , эффект от увеличения значения коэффициента развития седловатости начинается с угла входа палубы в воду и до 90° . Наибольший эффект наблюдается при больших углах крена. Поскольку значение изменения коэффициента k проявляет себя при больших углах крена, то его значение рационально изменять когда требуется получить большой закат диаграммы.

г) $\frac{\partial l}{\partial \zeta}$ - имеет отрицательное значение в диапазоне от 0° до 90° , следовательно, улучшение остойчивости в этом случае требует снижения положения центра тяжести, то есть уменьшения z_g или уменьшения ζ , что часто выполняется на малых судах в виде приёма твёрдого балласта. Наибольший эффект от изменения наблюдается на углах крена, начиная с 0° до 40° .

Просуммировав все приращения плеч статической остойчивости, полученные за счёт изменения безразмерных параметров формы корпуса судна, получена ДСО для контрольного примера на рисунке 7. Все параметры изменялись пределах 5% от значений судна-прототипа.

б) $\frac{\partial l}{\partial C_B}$ - имеет отрицательное значение в диапазоне от 0° до 60° , следовательно, уменьшение значения C_B приведёт к возрастанию значения dl_{C_B} и особенно в районе от 15° до 45° , при этом максимальное значение лежит в диапазоне углов от 25° до 35° . Уменьшение значения C_B даёт положительное приращение плеча по всему диапазону диаграммы и достигает максимального значения в l_{\max} . Уменьшение значения C_B приводит к уменьшению значе-

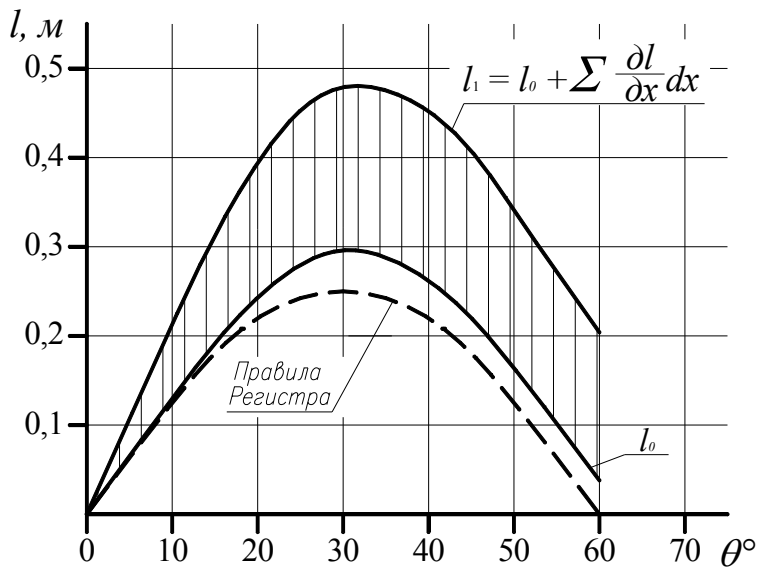


Рис. 7. Изменение ДСО сейнера РС-300 с учётом приращений за счет изменения безразмерных параметров формы корпуса судна

В работе были выполнены аналогичные расчеты значений частных производных плеч формы ($\partial l_\phi / \partial C_w$, $\partial l_\phi / \partial C_B$, $\partial l_\phi / \partial k$, $\partial l_\phi / \partial \zeta$) и плеч статической остойчивости ($\partial l / \partial C_w$, $\partial l / \partial C_B$, $\partial l / \partial k$, $\partial l / \partial \zeta$) для ряда ММС – рыболовных, портовых буксиров, лоцманского судна и судна технического назначения, которые хорошо зарекомендовали себя при эксплуатации.

Проанализировав полученные графики, можно отметить следующие особенности:

1) форма графиков для всех судов подтверждает синусоидальный характер изменения частных производных;

2) разброс значений или ширина полосы распределения значений частных производных $\partial l_\phi / \partial C_w$, $\partial l_\phi / \partial C_B$, и $\partial l_\phi / \partial \zeta$ имеет малый характер, так как абсолютное значение C_B изменяется также мало, в пределах значений 0,408 - 0,534;

3) большие различия $\partial l / \partial k$ по форме и значению обуславливаются сильным влиянием архитектурно-конструктивной компоновки судна, в одних случаях при расчёте частной производной учитывался бак или ют, а также надстройка, в других – для судов принималась во внимание только стандартная или завышенная седловатость.

По предлагаемой в работе методике пересчета была разработана Excel программа, внедрённая в учебный процесс на кафедре «Океанотехника и кораблестроение» по курсу «Особенности проектирования ММС».

В разделе также рассмотрены способы повышения остойчивости при эксплуатации судна. Балластировка судов постоянным балластом применялась и применяется достаточно широко в практике судостроения и эксплуатации судов. Практически все древние суда имели балласт в виде камней или литых металлических брусков уложенных на дне судов. Однако, укладка балласта может и ухудшить эксплуатационные технико-экономические качества судна. Но в противовес этому всегда возникает вопрос обеспечения безопасности судна, которую можно значительно повысить за счёт приёма на борт дополнительного балласта. Опыт проектирования судов показывает, что часто, особенно у малых и средних

морских судов, остойчивость пытаются повысить за счет приёма на судно твёрдого балласта. Этот вопрос достаточно подробно рассматривался в работах Н.К. Дормидонтова и Н.Б. Севастьянова.

При приёме балласта некоторое положительное приращение восстанавливающего момента (в зоне малых углов крена) будет иметь место не только за счет увеличения h , но и за счет возрастания водоизмещения в результате приёма балласта. На основании сказанного отметим, что при $d > h_0$ приём балласта всегда положительно влияет на остойчивость. Если $d < h_0$, то приём балласта даёт ничтожный положительный эффект, а иногда даже вреден для судов с большими значениями B/d .

В работе предложен вариант простейшего повышения остойчивости за счёт штормовых тентов. Многие ММС имеют завышенный бак, соединённый с высоким бортом и переходящим в стационарное палубное укрытие, простирающееся вплоть до кормы. Подобные конструкции характерны для малых и средних рыболовных судов, исходя из необходимости обеспечения безопасности при работе экипажа на верхней палубе и защиты механизмов от морской воды. Защитные тенты используются в малом судостроении, и их конструкция достаточно тщательно проработана. Однако использование подобных устройств было ограничено судами, предназначенными для отдыха, прогулок, охоты и др. Основные функции, которые они выполняли - это защита от дождя, солнечного излучения, брызг, возникающих от быстрого движения в глиссирующем режиме движения. Как правило тенты выполняются из прочных тканей ПВХ или 600Д и являются полностью влагонепроницаемыми. При исследовании данного вопроса использовались модели судов буксира пр. 73 длиной 14 м и водоизмещением 30 тонн. Штормовой тент крепился от надстройки до кормы по всей ширине судна. В результате полученных расчётов видно, что значение плеча формы в варианте "корпус-рубка-тент" превышает вариант "корпус-рубка" на 25 -30% и вариант "корпус" на 50%. Следовательно, значения плеча статической остойчивости, угол заката диаграммы увеличится, а это в свою очередь приводит к увеличению величины динамически приложенного восстанавливающего момента и к увеличению степени безопасности. Модель в дальнейшем используется в учебном процессе для проведения лабораторных работ с опытами по перевороту судна без тента и с его применением.

Пятая глава посвящена основным особенностям проектирования ММС с учётом теории риска.

Функция цели. Главная особенность ММС заключается в том, что в большинстве своём они принадлежат в основном фирмам или отдельным владельцам малого или среднего бизнеса, которые не имеют финансовых возможностей одновременно производить крупные капиталовложения в новые проекты судов. Следовательно, уже на стадии эскизного проектирования и проработки ТЗ необходи-

мо стремиться к минимизации расходов. В работе рассмотрены два направления снижения стоимости: за счёт увеличения серийности, и второе направление - это стандартизация и унификация, т.е. постройка судов различного назначения в одинаковых корпусах с минимальными изменениями.

Преимущество способа заключается в увеличении числа типов судов в одном и том же корпусе с одинаковым оборудованием МО, судовыми устройствами и т.п., что приводит к значительному их удешевлению. Наиболее эффективно применение данного подхода к средним и малым судам, поскольку крупные суда уникальны и требуют больших объёмов финансирования и специальных методов проектирования. Благодаря этому подходу можно сформировать типовой ряд модуль-корпусов судов-прототипов различного назначения с различными потребительскими качествами. В работе приведены два варианта приведения к модуль-корпусу буксира МБ-300 (см. рис. 8) и рыболовного судна пр. 1330. При пересчете на эти корпуса и последующей доработке все указанные суда могут быть выполнены в модуль-корпусах эбуксира МБ-300 и рыболовного судна пр. 1330.

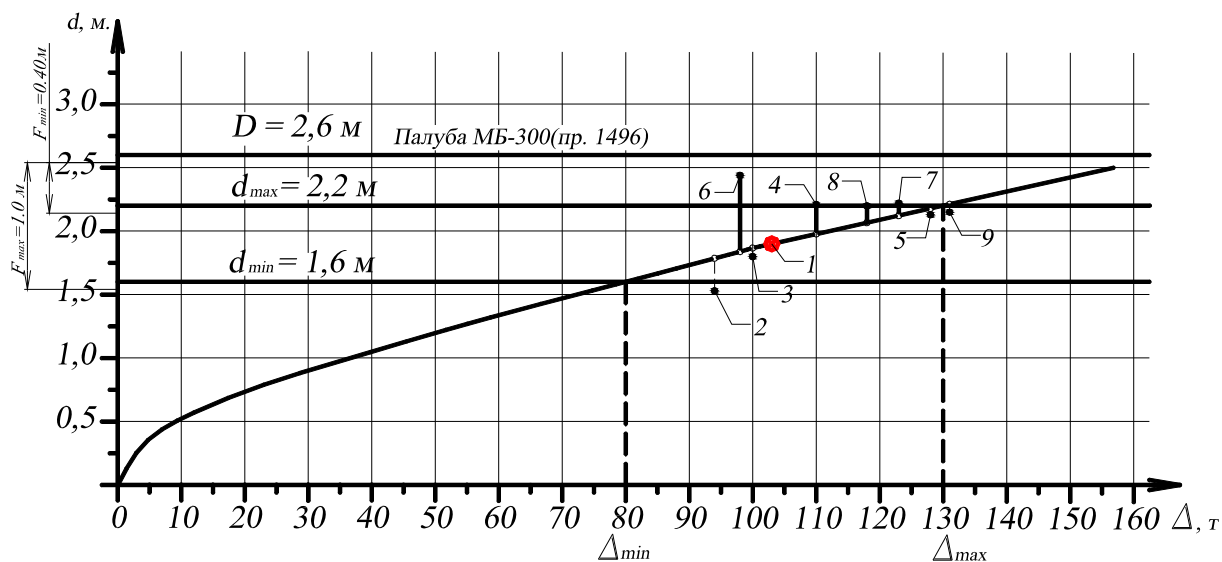


Рис. 8. Грузовой размер модуль-корпуса буксира МБ-300 :

$$\Delta = 106 \text{ т}, L_{\perp} = 21,5 \text{ м}, d = 1,90 \text{ м}.$$

Важным вопросом при проектировании любого судна являются достоверная информация о значении всех масс судна. От точности их расчёта зависит определение водоизмещения судна его элементов и правильность расчётов всех мореходных качеств. Однако, определить точно водоизмещение на начальных стадиях невозможно. Поэтому при выполнении укрупнённого постатейного расчёта составляющие водоизмещения определяются приближёнными методами с использованием зависимостей, которые содержат известные коэффициенты масс, полученные статистическим путём по судам-прототипам.

В работе были проанализированы значения некоторых измерителей масс для ММС и построен график значения удельного веса корпуса с оборудованием по отношению к водоизмещению – $a_k = f(\Delta)$. Приближенное уравнение зависимости

имеет вид $a_k = 0.6 - \frac{\Delta}{11000}$. Особенностью изменения измерителя массы корпуса с оборудованием для ММС является резкое падение значений a_k при возрастании водоизмещения по сравнению со значениями для крупных судов.

Одной из наиболее сложных задач при проектировании судов является задача создания судовой поверхности корпуса судна. В соответствии с этим был выполнен статистический анализ изменения соотношений главных размерений, коэффициентов полноты от водоизмещения судна. Анализу были подвергнуты данные по абсолютным и относительным значениям в функции полного водоизмещения для трёх групп типов судов: малые пассажирские суда, портовые рабочие буксиры, малые рыболовные суда.

Полученные в результате анализа и проверочного расчёта уравнения зависимости по каждому из предложенных типов судов возможно использовать для определения главных размерений на начальных стадиях проектирования ММС. При этом значение отклонения составило не более 1-3% от исходного значения водоизмещения. Основные уравнения по каждому типу судов приведены ниже:

$$\begin{array}{llll}
 \text{ПРБ} - L = 6.21 \cdot \Delta^{0.24}, & B = 1.56 \cdot \Delta^{0.26}, & d = 0.40 \cdot \Delta^{0.33}, & C_b = 0.25 \cdot \Delta^{0.16}, \\
 \text{МПС} - L = 6.82 \cdot \Delta^{0.26}, & B = 2.02 \cdot \Delta^{0.22}, & d = 0.59 \cdot \Delta^{0.24}, & C_b = 0.12 \cdot \Delta^{0.29}, \\
 \text{МРС} - L = 6.56 \cdot \Delta^{0.23}, & B = 1.44 \cdot \Delta^{0.30}, & d = 0.30 \cdot \Delta^{0.41}, & C_b = 0.39 \cdot \Delta^{0.05}, \\
 \text{ММС} - L = 6.63 \cdot \Delta^{0.24}, & B = 1.53 \cdot \Delta^{0.28}, & d = 0.38 \cdot \Delta^{0.35}, & C_b = 0.25 \cdot \Delta^{0.14}.
 \end{array}$$

Опыт проектирования и эксплуатации ММС судов длиной менее 24 м показывает, что из условий обеспечения необходимой остойчивости судна, фактическая величина надводного борта имеет большую величину. Это подтверждается и анализом статистической выборки на рисунке 9.

Вопрос о надводном борте в носовой оконечности малых морских судов относится к наиболее существенным, с точки зрения безопасности плавания.

Необходимо учитывать, что максимальный эффект от заливания получается при максимальном дифференте на нос во время килевой качки, при максимальной высоте морской волны и ходовой волны. Вершина ходовой волны с увеличением скорости судна смещается в направлении середины длины судна. Поэтому заливание палубы обычно происходит не у самого форштевня, а в корму от него по направлению к середине длины судна. Уменьшению забрызгиваемости способствуют острые ватерлинии в носовой оконечности, что характерно для обводов ММС.

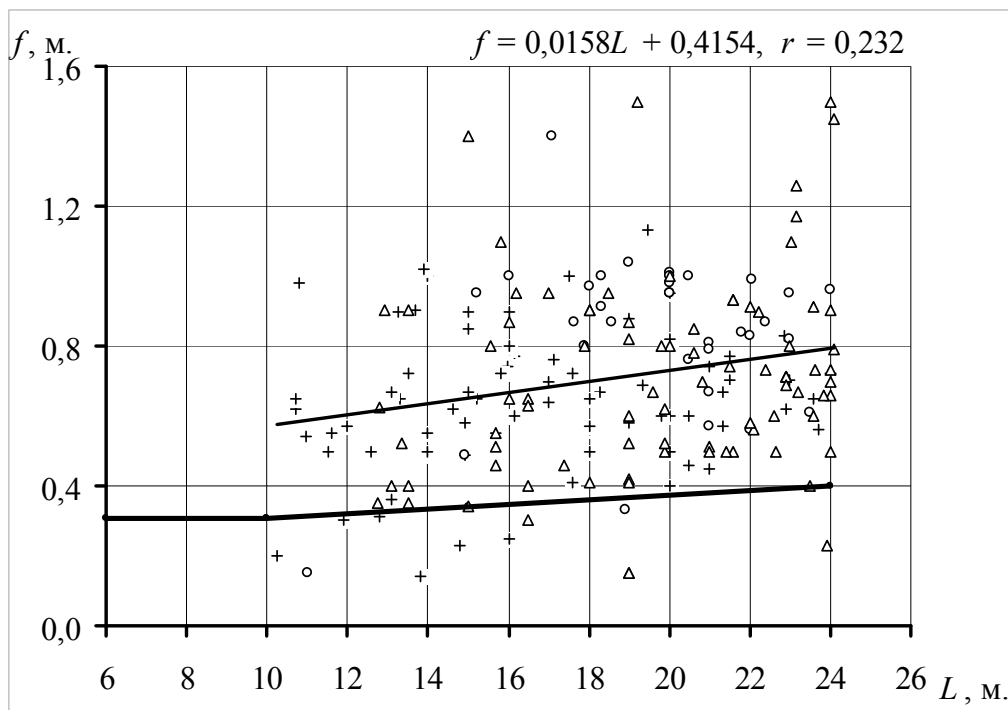


Рис. 9. Надводный борт ММС $f = f(L)$

+ - портовые и рабочие буксиры; Δ- малые пассажирские суда; ○ - малые рыболовные суда;
 ——— - средняя линия; ——— - табличный надводный борт

Использование модульных принципов при проектировании ММС можно распространить и на главные двигатели. В работе выполнен статистический анализ мощностей различных малых судов в функции водоизмещения – $\Delta = f(Ne)$. Отдельные типоразмеры двигателей по мощности (60, 110, 145, 160, 220 кВт), серийно выпускаемые промышленностью, являлись определяющими при проектировании ММС. Из практики эксплуатации ММС известно, что этот типоразмерный ряд двигателей практически удовлетворял нужды промышленности при этом водоизмещение изменялось у этих судов в пределах от 34 до 657 тонн.

Приведенные ранее и проанализированные особенности ММС, которые необходимо учитывать при проектировании, дают картину степени обеспечения безопасности только узкому кругу специалистов-проектировщиков, и как правило, не понятны для заказчиков судов. Традиционные подходы к проектированию судов рассматривают проблему выбора наилучших проектных решений, используя математико-вычислительные методы, как правило, при этом не учитываются финансово-экономическая сторона затрат на обеспечение безопасности судна. Развитие направления по анализу рисков позволит убедить судовладельцев выделять на обеспечение надёжности и безопасности судов вполне реальные средства.

Используя методологию Формальной оценки безопасности (ФОБ), принятую в Руководящих принципах для ФОБ для использования в процессе принятия решений в ИМО MSC/Circ. 1023, MEPS/Circ. 392 5 апреля 2002 года, и опираясь на требования Правил к остойчивости ММС, в работе автором предлагается оценить степень риска гибели судна через его способность противостоять внешнему влия-

нию. Для анализа риска использовалась преобразованная матрица риска в виде FN-диаграммы (см. рис. 10).

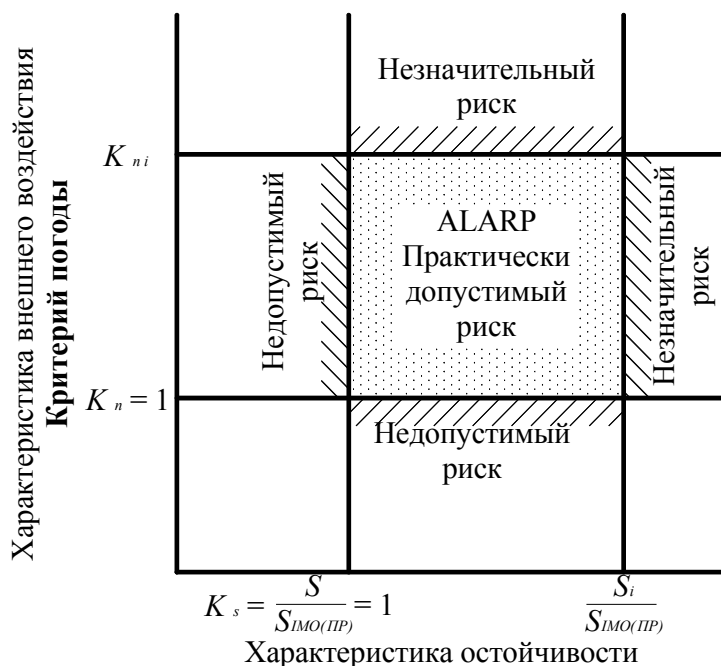


Рис. 10. Матрица риска, с учётом требований ИМО по остойчивости

Согласно подходам, которые приняты в методе ФОБ, проект судна, имеющего характеристику остойчивости ниже границ области «недопустимого риска», должен быть скорректирован для получения результата по остойчивости (точка 2 см. рис. 11). Проект судна, попавшего в зону допустимого риска (ALARP), в дальнейшем может быть подвергнут улучшению в начале разработки проекта на основе технико-экономического обоснования мероприятий по снижению уровня риска.

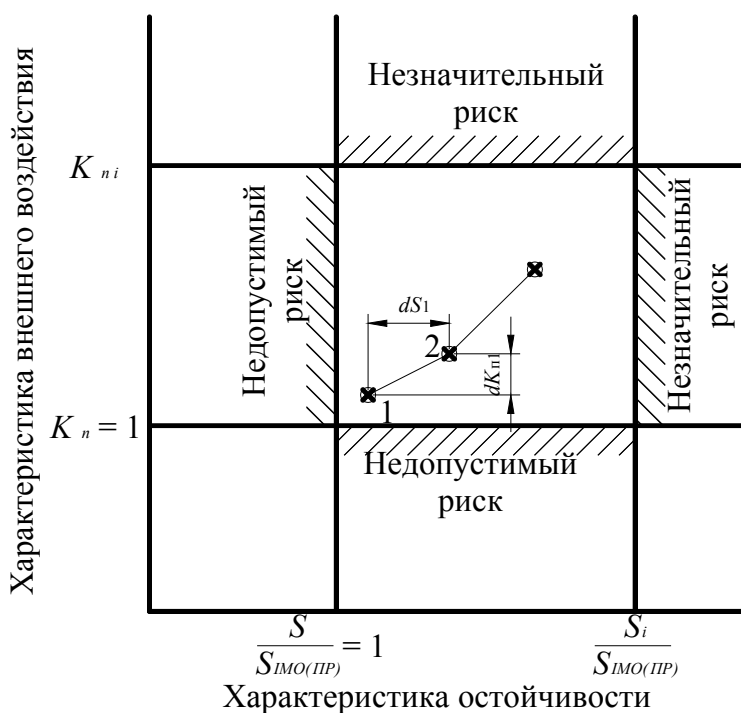


Рис. 11. Матрица риска, отражающая улучшение остойчивости судна, с учётом финансовых возможностей заказчика

Предлагаемый подход позволяет, используя зону ALARP-а, подобрать одно или группу судов-прототипов, которые целесообразно использовать при проектировании новых судов. В работе был сформирован массив из 41 малого морского судна различного назначения. На основе полученных значений критерия погоды и значений относительных площадей ДСО были сформированы матрицы риска. Границами матриц являлись требования действующих Правил Регистра РФ, при этом изменялись районы плавания и учитывались критерии погоды от влияния ветра, волн и разрушающегося волнения. Анализ графиков показал, что большая часть судов удовлетворяет требованиям Правил по значениям критерия погоды только для ограниченного района плавания, наблюдается большой разброс значений критерия погоды, что указывает на то, что каждый проектант принимал решение, исходя из своей собственной практики, существует область близких значений образующих зону ALARP-а, некоторые крупные суда длиной 35 – 45 м часто имеют значения K_n меньше, чем суда длиной 12 – 24 м, практически все суда не удовлетворяют требованиям критерия погоды на разрушающемся волнении.

Рассматривая приведенные графики с точки зрения обеспечения статической устойчивости, можно предположить, что значение $K_s > 1$ для ДСО в диапазоне от 0° до 60° наиболее сложно обеспечить при проектировании. Если для ДСО от 0° до 30° значению $S_{30^\circ} \geq 0,055$ м.рад. не удовлетворяет только несколько судов, то для диаграммы от 0° до 60° уже существенно большее количество судов.

Опираясь на данные анализа матриц риска, можно оценить и вероятность возникновения аварийной ситуации, используя для этого относительную величину площади ДСО судна-проекта и нормативную величину площади. В работе была представлена шкала условной вероятности для получения значения уровня риска.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тема диссертационной работы связана с проблемой оценки характеристик устойчивости ММС различного назначения на начальных стадиях проектирования. Исследования, связанные с разработкой методики проектирования малых морских судов различного назначения на основе формальной оценки безопасности и использовании теории риска.

К основным результатам выполненной работы относятся:

1. Выполнен анализ особенностей и условий эксплуатации малых морских судов различного назначения.
2. Проанализирована доступная статистика аварийности малых морских судов, и определены основные группы наиболее опасных аварий, имеющих максимальный уровень потерь в виде груза, экипажа или судна.
3. Впервые предложена методика формализованной оценки риска, позволяющий в условиях ограниченности информации об авариях малых морских

судов идентифицировать основные опасности возникающие при их эксплуатации, к которым относится потеря остойчивости.

4. Впервые предложены методические основы для решения задачи проектирования с использованием теории риска и метод технико-экономического анализа риска ММС, позволяющий оценить возможные потери при гибели судна или затраты на обеспечение необходимого уровня надёжности ММС.

5. Выполнен анализ остойчивости аварийных и неаварийных ММС различного назначения и показано, что они имеют минимальный запас по остойчивости, по сравнению с требованиями классификационных обществ и ИМО. Сделан вывод о том, что МПС имеют минимальные ДСО при сравнении с требованиями КО, но при этом имеют значительные ограничения по району плавания, что обеспечило высокую надёжность при эксплуатации.

6. Рассмотрена статистическая величина начальной метацентрической высоты по данным ИМО для ММС и показано, что наиболее приемлемые значения h_0 находятся в диапазоне 0,7 – 0,8 м. Показано влияние h_0 , водоизмещения и ширины судна на ДСО, выраженную её площадью S_θ . Необходимо отметить, что влияние h_0 на ДСО более сильное на восходящей ветви и ослабевает на нисходящей, а влияние водоизмещения и ширины ММС наоборот, сильнее проявляется при больших углах крена.

7. Предложен способ совместного использования метода аффинных преобразований теоретического чертежа и дифференциального способа, с целью повышения точности пересчётов ДСО с прототипа на проект.

8. Предложен способ увеличения остойчивости с помощью штормового тента.

9. Впервые предложен способ использования проектного модуль-корпуса при проектировании нового судна с назначением отличным от прототипа.

10. Выполнен анализ относительных и абсолютных значений главных размеров и коэффициентов полноты малых морских судов различного назначения и предложены регрессионные зависимости для использования их на начальных стадиях проектирования ММС.

11. На основе статистического анализа значений фактической высоты надводного борта у малых морских судов сделан вывод о необходимости увеличения его значения, по сравнению с принятым в Правилах, для обеспечения запаса по остойчивости путём увеличения угла заливания судна.

12. Проанализирована возможность использования ограниченной численности серийных главных двигателей для установки на ММС.

13. В работе показано, что удельные затраты энергии на движение судна в функции чисел Фруда могут иметь значения, соответствующие значениям статистической огибающей кривой, заданной уравнением вида – $\eta_{\min} = 9 \cdot Fr^4$. Пока-

зано, что для ММС при проектировании практически отсутствуют требования получения минимальных значений удельных затрат энергии.

14. На основе статистического анализа скорости ММС различного типа определена минимально возможная скорость хода с точки зрения обеспечения безопасности.

15. Предложено определять район плавания с учётом значений, полученных при нормативной проверке остойчивости ММС по критерию погоды.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

I. В изданиях, входящих в перечень ВАК Украины

1) **Жибоедов В.В.** Исследование возможности использования модуль-корпуса для малых морских судов различного назначения / А.В. Кузьмина // Весник СевНТУ. Вып. № 106: Механика, энергетика, экология: сб. науч.тр. – Севастополь: Изд-во СевТУ, 2010. – С. 180 – 183.

2) **Жибоедов В.В.** Влияние безразмерных параметров формы корпуса на диаграмму статической остойчивости проектируемого судна / А.И. Раков, А.В. Кузьмина // Весник СевНТУ. Вып. № 119: Механика, энергетика, экология: сб. науч.тр. – Севастополь: Изд-во СевТУ, 2011. – С. 178 – 185.

3) **Жибоедов В.В.** Анализ диаграмм статической остойчивости малых морских судов. / А.И. Раков, А.В. Кузьмина // Весник СевНТУ. Вып. № 147: Механика, энергетика, экология: сб. науч.тр. – Севастополь: Изд-во СевТУ, 2014. – С. 103 – 108.

II. Прочие издания

4) **Жибоедов В.В.**, Определение оптимального количества малых пассажирских судов прибрежного плавания. /А.В. Кузьмина, А.И. Раков// Менеджмент малого и среднего бизнеса: информационные технологии: матер. междунар. науч.–практич. конф. Севастополь, 2006. С. 43 – 45.

5) **Жибоедов В.В.** Обеспечение безопасности мореплавания при проектировании малых морских судов / В.В. Жибоедов, А.И. Раков, А.В. Кузьмина // Безопасность мореплавания и ее обеспечение при проектировании и постройке судов: матер. междунар. науч.–техн. конф. БМС–2007, Николаев, 25 – 26 нояб. 2007г. – Николаев, 2007. – С. 49 – 50.

6) **Жибоедов В.В.** Выбор высоты надводного борта малых морских судов / В.В. Жибоедов, А.В. Кузьмина, А.И. Раков // Сборник научных трудов НУК: сб. науч. тр. – Миколаїв, 2007. – Вып. № 3(414) – С. 56 – 60.

7) **Жибоедов В.В.** Статистический метод выбора главных размерений малых морских судов / В.В. Жибоедов, А.И. Раков, А.В. Кузьмина // Весник СевГТУ. Сер. Механіка, енергетика, екологія: сб. науч. тр. – Севастополь, 2008. – Вып. 87. – С. 140 – 144.

8) **Жибоедов В.В.** Определение скорости малых морских судов позиции безопасности мореплавания / В.В. Жибоедов, А.В. Кузьмина, А.И. Раков. // Весник СевГТУ. сер. Механика и энергетика, экология: сб. научн. тр. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – С. 35 – 37.

9) **Жибоедов В.В.** Повышение уровня безопасной эксплуатации малых морских судов в штормовых условиях / В.В. Жибоедов // Весник СевГТУ. сер. Механика и энергетика судов: – Севастополь, 2009. – Вып. 89. – С. 129 – 132.

10) **Жибоедов В.В.** Оценка районов плавания с использованием теории риска / А.И. Раков // Весник Одесского национального морского университета. Сборник научных трудов. № 34(1), 2012, С. 189 – 199.

11) **Жибоедов В.В.** Анализ плеча остойчивости и максимального угла крена для малых морских судов / А.И. Раков // Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и технике. Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения Р.Е. Алексеева.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 23-24 ноября 2016. – 653с.

12) **Жибоедов В.В.** Статистические методы выбора главных размерений ММС / А.И. Раков, А.В. Жибоедов, В.В. Жибоедов // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений: сб. докладов межвузовской науч.-техн. конф., Севастополь, Севастополь, 11-13 апреля 2016. – 172 с.

13) **Жибоедов В.В.** Использование теории риска при проектировании малых морских судов / А.И. Раков // Будущее технической науки: сборник материалов XV Международной молодежной научно-техн. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 27 мая 2016. – 626 с.

14) **Жибоедов В.В.** Статистический метод подбора начальной метацентрической высоты малых морских рыболовных судов / В.В. Жибоедов // Будущее технической науки: сборник материалов XV Международной молодежной научно-техн. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2017. – 763с.