

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**



На правах рукописи

Чуреев Евгений Андреевич

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УНИВЕРСАЛЬНОГО РЫБОЛОВНОГО
ТРАУЛЕРА ДЛЯ ПРИБРЕЖНОГО РЫБОЛОВСТВА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ**

Специальность: 2.5.18 «Проектирование и конструкция судов»

Калининград

2023

Диссертация выполнена на кафедре Судостроения, судоремонта и морской техники Института морской техники, энергетике и строительства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник ФГУП «Крыловский
государственный научный центр»
Орлов Олег Павлович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой проектирования и технологии
постройки судов ФГБОУ ВО «Волжский
государственный университет водного транспорта»

Роннов Евгений Павлович;
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Кораблестроение и авиационная техника» Института
транспортных систем ФГБОУ ВО «Нижегородский
государственный технический университет им. Р.Е.
Алексеева»

Ларин Александр Геннадьевич.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет».

Защита состоится «28» февраля 2024 года в 12.00 на заседании диссертационного совета Д37.2.007.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет» по адресу: 236022, г. Калининград, ул. проф. Баранова, 43, ауд.101Б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу: г. Калининград, Советский проспект 1.

Электронная версия диссертации и автореферата размещены на официальном сайте ФГБОУ ВО «КГТУ» по адресу www.klgtu.ru/dissertations/detail/?ELEMENT_ID=2289

Автореферат разослан « ____ » _____ 202 ____ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бугакова Нина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Промышленное рыболовство – стратегически важная отрасль для Российской Федерации. Особенно это заметно в прибрежных регионах России. В соответствии со Стратегией развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2019 года №1930-р, одной из стратегических целей является «Насыщение российского внутреннего рынка рыбопродукцией отечественного производства, повышение эффективности использования судов рыбопромыслового флота».

В настоящее время, большинство судов, ведущих промысел в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Балтики, имеют возраст 30 лет и более, и исчерпали свой модернизационный ресурс. Эксплуатация такого флота не позволяет осваивать в полном объеме выделенные России квоты по вылову рыбы. Такая ситуация может привести к перераспределению квот между странами Балтийского региона, что безусловно нанесет ущерб интересам РФ.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами проектирования промысловых судов в последнее время занимались Н.Ю. Часовников, В.П. Иванов, М.В. Войлошников, В.Г. Бугаев. Указанные работы были направлены на решение комплексных задач создания и оптимизации промыслового флота в целом в Российской Федерации. Кроме того, при проектировании судов необходимо учитывать труды Л.М. Ногида, А.И. Ракова, Н.Б. Севастьянова, С.И. Логачева, Ю.И. Нечаева, А.П. Иванова, С.В. Дятченко, Е.В. Маслюка, В.В. Ярисова и других специалистов. Также вопросами проектирования промысловых судов для Социалистической Республики Вьетнам и Союза Мьянма занимались Дам В.Т., Зыонг В.Т., Нго Д.Т., Лвин А. С., Нгуэн В.Х., Май Н.Ч., Лыонг Н. Х. Цели и задачи, в указанных работах, направлены на решения проблем создания промыслового флота в Юго-восточном регионе Азии, с соответствующей адаптацией под данный регион.

Объект исследования: универсальный малый рыболовный траулер для прибрежного рыболовства в Балтийском море.

Предмет исследования: технические характеристики универсального малого рыболовного судна для Балтики и способы их проектного обоснования.

Цель настоящей работы: разработка концепции и проектное обоснование характеристик современного конкурентоспособного малого рыболовного судна (МРС) для заданного района промысла - ИЭЗ Балтийского моря.

Для достижения поставленной цели, должны быть решены следующие **основные задачи:**

- выполнить комплексный анализ технико-экономических условий (ТЭУ) прибрежного рыболовства на Балтике;
- разработать концепцию (облик) современного малого рыболовного судна (МРС) для прибрежного рыболовства в Балтийском море;
- выполнить и обобщить результаты экспериментальных исследований мореходности МРС для Балтики в опытовом бассейне;
- разработать аванпроект МРС для Балтики.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- определены взаимосвязанные факторы (промысловая база, квотирование и ветро-волновой режим районов промысла, мощность береговой инфраструктуры), влияющие на проектные характеристики промысловых судов, для работы в заданном районе;
- спроектирована и испытана новая форма корпуса малого рыболовного судна, обеспечивающая оптимизацию по ходкости (сопротивление воды движению судна) без ущерба мореходности (поведение судна на волнении) и наоборот в условиях короткого волнения Балтийского моря;
- разработана и запатентована экспериментальная установка для опытового бассейна, необходимая для проведения модельных испытаний на остойчивость по схеме Российского Морского Регистра Судоходства (РМРС) – при одновременном действии на судно волнения и шквалистого ветра;
- получены аналитические зависимости – уравнения проектирования – на основании результатов аванпроекта и экспериментальных исследований, применительно для данного типа судна;
- обоснованы концепция и основные технические характеристики универсального рыболовного траулера для рыболовства в заданной акватории – Балтийское море.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования заключается в выявленной зависимости значения коэффициента остаточного сопротивления судна от его ходового дифферента – *коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна будет минимальным при условии, что судно будет двигаться на расчетной скорости на ровный киль*. Неправильная удифферентовка судна при неизменном водоизмещении может привести к увеличению значения

остаточного сопротивления судна до 30%. Практическая значимость работы связана с комплексным учетом взаимоувязанных ТЭУ прибрежного рыболовства, определяющих ключевые факторы, влияющие на проектные характеристики малого рыболовного судна. Результаты экспериментальных исследований мореходности (влияние начальной и ходовой посадки судна, формы носового бульба на сопротивление; влияние носового бульба и высоты надводного борта на явление заливаемости палубы) малых рыболовных траулеров (МРТ) в опытовом бассейне КГТУ рекомендуются для учета при проектировании других малотоннажных промысловых судов. Представленный в работе аванпроект судна предназначен для использования в качестве прототипа при разработке судов подобного класса и назначения. Полученные основные характеристики судна предназначены для использования в качестве исходных данных при последующих этапах проектирования.

Методология и методы исследования. В диссертационном исследовании применялись методы теории проектирования судов и математической статистики; анализ технической литературы и нормативной документации; имитационное моделирование на компьютере с использованием специализированных программных продуктов; эмпирические методы (экспериментальные исследования физических моделей судов в опытовом бассейне); экономический анализ.

В процессе обработки статистических данных и результатов экспериментальных исследований использовалось программное обеспечение Microsoft Excel. Первичные результаты экспериментов обрабатывались с использованием ПО WinПОС. Компьютерное моделирование и расчеты по теории корабля выполнялись с использованием ПО Диалог-статик, Maxsurf. Выполнение математического моделирования выполнялось с использованием ПО MathCad.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты комплексного анализа технико-экономических условий прибрежного рыболовства на Балтике;
2. Теоретические исследования обоснования концепции (облика) современного универсального малого рыболовного судна;
3. Подход к определению основных характеристик конкурентоспособного МРС;
4. Результаты экспериментальных исследований мореходности малых рыболовных судов на тихой воде и волнении в условиях Балтийского моря.
5. Конструкторские решения, отраженные в аванпроекте МРС для Балтики.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается значительным объемом собранного, обработанного и проанализированного материала, предоставленным Западно-Балтийским территориальным управлением Федерального агентства по рыболовству, подразделениями ФГБНУ «ВНИРО» и рыбодобывающими организациями; учетом и выполнением требований Правил классификации и постройки морских судов Российского Морского Регистра Судоходства; использованием штатных методик проведения испытаний в опытовом бассейне ФГБОУ ВО «КГТУ», приближенных к рекомендованным ИТТС (МКОБ – Международная конференция опытовых бассейнов); использованием метрологически поверенного и калиброванного измерительного оборудования во время проведения экспериментальных исследований.

Апробация результатов исследования. Результаты работы апробированы ФГУП «Крыловский государственный научный центр» при выполнении Опытно-конструкторской работы по теме «Разработка концептуального проекта модернизации маломерного рыболовного траулера по типу пр.1328 («Балтика»), для Северо-Западного региона России, с вариантом использования в качестве основного топлива сжиженного природного газа (СПГ) и с возможностью использования функции прохождения промысловой практики и обучения будущих специалистов отраслевых учебных заведений», шифр «Балтика», о чем свидетельствует соответствующий Акт. Отдельные результаты работы внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «КГТУ» в рамках подготовки кадров по направлению 26.03.02 – «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры». Также основные положения данной работы были использованы в проекте судна, разрабатываемого КБ «Адомат» (г. Светлый, Калининградская обл.), строительство которого началось в 2019 году.

Основные результаты исследования были представлены на научно-практических конференциях различного уровня: Конференция молодых ученых и специалистов, ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, 2015г; V и VI Международные научные конференции «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» в рамках V и VI Международного Балтийского Морского Форума, Калининград, 2017, 2018 гг.; Межкафедральный семинары ФГБОУ ВО «КГТУ». По результатам диссертационного исследования **опубликованы** 11 научных статей, из них 5 изданы в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК

Минобрнауки РФ. По теме диссертации получен патент Российской Федерации на полезную модель «Аэродинамическая труба» №184761 (заявка № 2018122165).

Личный вклад автора в диссертационное исследование состоит в:

- разработке и формулировании целей и задач исследования;
- сборе, обработке и анализе массива информации по ТЭУ промысла на Балтике;
- подготовке, проведению и обработке результатов модельных испытаний в опытовом бассейне, а также выполнение имитационных исследований на компьютере;
- разработке математической модели для выполнения расчета технико-экономических показателей судна.

Соответствие паспорту специальности. Приведенные в диссертации научные положения соответствуют паспорту специальности 2.5.18 «Проектирование и конструкция судов»: п.1 «Программы пополнения флотов новыми объектами морской техники»; п. 3 «Состав транспортно-технологических систем для обеспечения рыболовства, аквакультуры и т.п.»; п. 4 «Методы и методики проектирования судов, кораблей и других объектов морской техники как сложных технических систем, в том числе обеспечивающие выполнение требований к уровням их физических полей».

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 4-х глав и заключения. Диссертация содержит 20 таблиц, 59 рисунков, 2 страницы оглавления, список литературы из 114 наименований, а также 9 приложений. Общий объем работы составляет 210 страниц, в том числе приложения на 73 листах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, приводится анализ видов промышленного рыболовства в Калининградской области, определяются цели и задачи диссертационного исследования, обозначаются практическая значимость, новизна результатов и другие характеристики работы.

В первой главе «Комплексный анализ технико-экономических условий прибрежного рыболовства на Балтике» представлен комплексный анализ технико-экономических условий прибрежного рыболовства в Балтийском море. Анализ *существующего промыслового флота*, работающего в настоящее время в акватории Балтийского моря показал, что практически все суда выработали свой ресурс и не способны работать с современными высокоуловистыми орудиями лова. Суда проекта 1328 типа «Балтика», составляющие подавляющую часть промыслового флота на Балтике, в разы уступают по эффективности судам иностранной постройки,

работающим в том же самом районе промысла, о чем свидетельствуют данные о средних объемах суточных выловов по месяцам (рисунок 1).

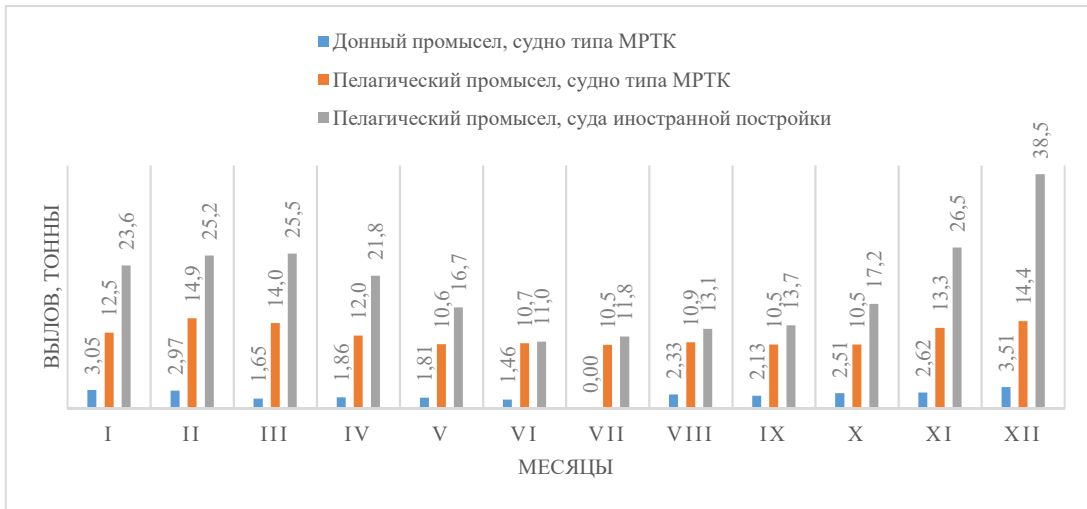


Рисунок 1 – Средний объем суточных выловов по месяцам

На основании анализа режима работы промыслового флота были установлены непроизводительные временные потери эксплуатируемых судов: временные затраты судна на пребывание в портах – от 19 до 20%; общее количество времени судна вне эксплуатации – от 15 до 17%; временные затраты на переходы к районам промысла и обратно – от 6 до 12%.

В результате, нахождение судна на промысле составляет от 51 до 60%.

Анализ района промысла, промысловой базы и объема выделяемых квот показал, что промышленное рыболовство в Балтийском море ведется в исключительной экономической зоне Российской Федерации в двух районах (согласно классификации, ICES/ИКЕС – международный совет по исследованию моря) – в юго-восточной части моря (26 подрайон) и в Финском заливе (32 подрайон) Балтики. С точки зрения рыболовства, основное экономическое значение для региона имеет 26 подрайон, расположенный у берегов Калининградской области. При этом состав квот, выделенных России, показан на рисунке 2. Необходимо отметить, что за последние 10 лет, существующий промысловый флот в среднем выбирал 67,4% квот по кильке; 72,8% по салаке; 77,3% квот по треске и 86,4% квот по камбале, т.е. в полном объеме квоты не облавливаются. Основными причинами этого являются простой судов на промысле из-за гидрометеорологических условий и простой судов из-за ремонтов.

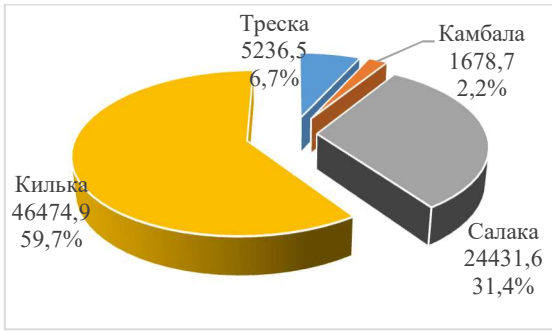


Рисунок 2 – Данные промысловых квот (в тоннах) по данным на 2020 год

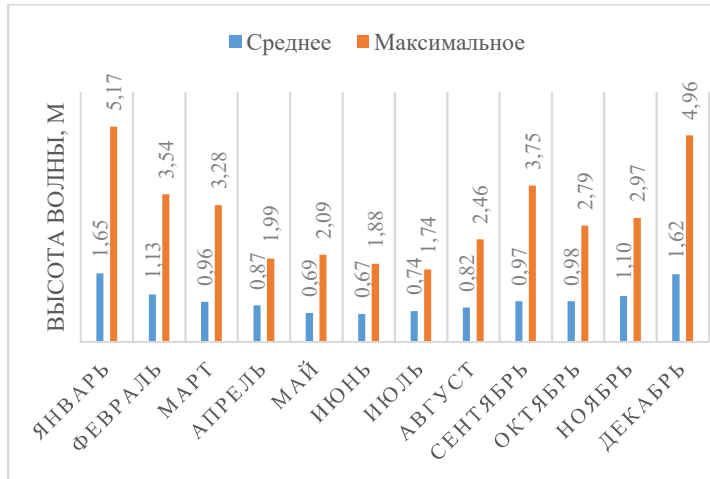


Рисунок 3 – Характеристики высоты волнения в Балтийском море

Гидрометеорологические условия в районе промысла показали, что в среднем высота волн находится в диапазоне 0,6 – 1,6 метра. Максимальные значения высоты волн, зависят от сезона. В летний период (апрель – август) они изменяются в диапазоне 1,7 – 2,5 метра, а в зимний период – 2,8 – 5,2 метра. Самые большие значения (4,9 – 5,2 метра) приходятся на сезон штормов (декабрь – январь), рисунок 3.

Похожая закономерность в зависимости от времени года характерна и для интенсивности ветров – в период с февраля по ноябрь средние ветра не превышают 8 м/с, а в сезон штормов (с декабря по январь) – от 9,1 по 9,3 м/с. Средние максимальные значения скорости ветра в течении года 10 – 14 м/с, а в сезон штормов – от 16 до 17 м/с.

Анализ береговой инфраструктуры показал, что рыбоперерабатывающие предприятия развивают свои производства, отталкиваясь от объема выделенных квот, и, следовательно, имеют потребность в рыбном сырье в больших объемах, чем может обеспечить промысловый флот. Таким образом, для обеспечения облова квот и загрузки предприятий на полную мощность необходим либо более многочисленный флот, либо принципиально новый флот, способный обеспечить полный вылов рыбных биоресурсов в рамках Общих допустимых уловов (ОДУ).

Во второй главе «Разработка концепции современного МРТ для прибрежного рыболовства на Балтике. Проектное обоснование характеристик судна» представлена разработка концепции современного МРТ для прибрежного рыболовства на Балтике.

Исследование *возможных промысловых схем* установило, что оптимальной промысловой схемой для работы на Балтике является кормовое траление. Классическая схема траления донным и пелагическим тралом ничем не отличается, поэтому используется тот же самый набор промыслового оборудования на судне. Однако, килька и салака (основные промысловые пелагические породы рыбы на Балтике), значительно меньше трески и камбалы (основные донные породы рыб) по размерам и не требуют предварительной обработки после вылова на борту судна. Стремясь оптимизировать процесс лова, а также улучшить качество добываемой рыбы (сохранив ее торговую ценность), на судах стали оборудоваться бункеры для перевоза выловленной рыбы наливом, а впоследствии стали устанавливаться и рыбонасосы, способные перекачивать улов непосредственно из кутка трала в рыбные трюма, не поднимая трал на борт судна. Все это позволило на современных рыболовных судах отказаться от большой промысловой палубы, вытяжных лебедок, а также от массивного грузового устройства. Функция последнего сводится к приподниманию кутка трала для подключения к нему приемного патрубка рыбонасоса.

Изучение способов хранения улова на борту судна показало, что оптимальным способом хранения пелагической рыбы является хранение в водной среде в специальных рыбных танках, т.е. наливом. Однако хранение донных пород рыбы наливом не допускается, потому что приводит к значительной потере качества улова. Следовательно, при обеспечении возможности вести промысел донных и пелагических пород рыб, необходимо предусмотреть способы хранения улова, приемлемые для каждой породы рыб. Таким решением является оборудование нескольких рыбных танков для хранения и перевозки улова наливным способом, при этом один или несколько танков могут быть пригодными для хранения рыбы в ящиках в охлажденном виде. Проектируемое судно планируется эксплуатировать круглогодично. Следовательно, необходимо предусмотреть возможность охлаждения улова. Результаты анализа показывают, что при хранении улова наливным способом оптимально использовать системы RSW-танков (охлаждение стенок рыбных танков забортной водой) для охлаждения воды в наливных рыбных трюмах. В случае хранения рыбы в сухом виде в ящиках, необходимо обеспечить охлаждение улова льдом. Лучшим решением для этого является жидкий лед, вырабатываемый генераторами жидкого льда.

На основании рассмотренных материалов, также по результатам *изучения иностранного опыта создания малых рыболовных судов*, были сформированы

требования к архитектурно-конструктивному типу оптимального судна для ведения промысла на Балтийском море.

Отдельно отмечается, что *форма корпуса* малых и малотоннажных промысловых судов за последнее время претерпела достаточно большие изменения. Современные малые рыбопромысловые суда характеризуются достаточно полными обводами, отличными от классических (форм корпусов судов промыслового флота СССР). Отсутствие соответствующего опыта проектирования подобных судов в РФ, а также закрытый характер информации по современным иностранным судам, поставили перед автором соответствующую *задачу разработки концепции нового судна с отработкой формы корпуса*.

В результате обобщения представленного материала, было *выполнено техническое обоснование элементов технического задания на разработку проекта судна*.

В рамках решения поставленной проблемы, необходимо решить классическую задачу проектирования, т.е. определить главные размерения и основные характеристики нового судна. Однако, для составления уравнений проектирования (весов, объемов, мощности и т.д.) необходимо наличие справочной информации – рекомендаций, либо проектной информации прототипов – успешно функционирующих судов подобного типа и размерений. С целью решения указанной проблемы, *автором принято решение ввести дополнительную стадию проектирования – аванпроект*. Цель аванпроекта – проработка архитектурно-конструктивного типа, разработка общего расположения и промысловой схемы судна, а также выполнение ряда проектных и проверочных расчетов для определения возможности или невозможности создания нового судна данного типа, удовлетворяющего всем современным требованиям Правил Российского Морского Регистра Судоходства.

На основании вышеизложенного, автор разработал форму корпуса судна длиной 24 метра, проработал компоновку отсеков и помещений исходя из условия обеспечения объема рыбных трюмов в 150 м^3 , а также отработал промысловые схемы. Объем рыбного трюма 150 м^3 – определен как максимальное значение на основании анализа характеристик современных промысловых судов.

Основное ограничение главных размерений – расчетная классификационная длина судна не должна превышать 24 метров – обосновывается двумя факторами:

а) суда до 24 метров длиной входят в 4-ый класс, в соответствии с требованиями Санитарных Правил и Норм;

б) во всем мире для судов, включая промысловые, длиной менее 24 метров длиной разрабатываются отдельные правила, учитывающие специфику маломерного флота. Подобные работы ведутся и в России – существуют Правила классификации и постройки малых морских рыболовных судов Российского морского Регистра Судоходства, а также имеется информация о выполнении научно-технической работы по теме «Разработка проекта правил классификации и постройки морских судов малых размерений» силами АО «Центральный Ордена трудового красного знамени научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота» (АО «ЦНИИМФ»).

В результате автором были разработаны: теоретический чертеж судна (рисунок 4), чертеж общего вида и расположения (рисунок 5), промысловая схема и конструкция корпуса.

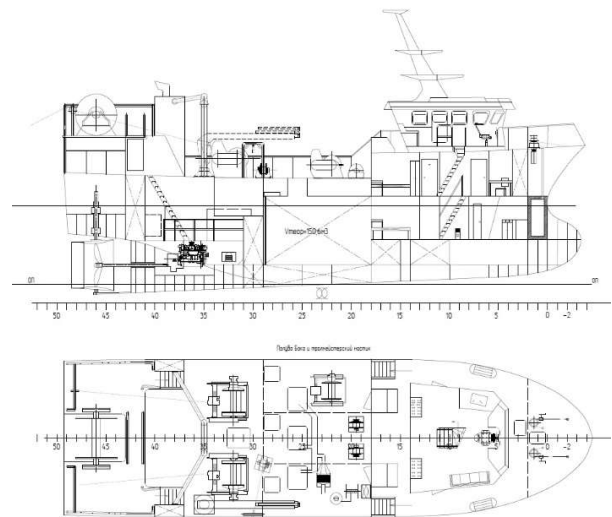
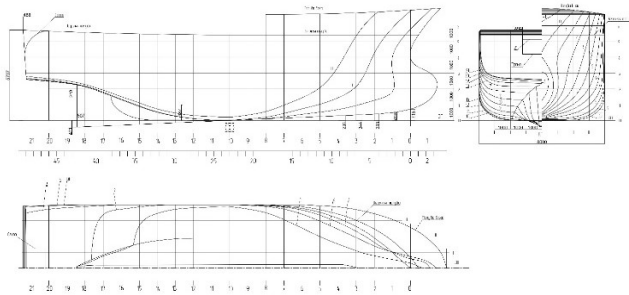


Рисунок 4 – Теоретический чертеж

Рисунок 5 – Чертеж общего вида судна

В дальнейшем указанные результаты были использованы при выполнении ОКР «Разработка концептуального проекта модернизации маломерного рыболовного траулера по типу пр. 1328 («Балтика»), для северо-западного региона России, с возможностью использования функции прохождения промысловой практики и обучения будущих специалистов отраслевых учебных заведений», шифр «Балтика – КГТУ», выполненной по заказу ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

В рамках указанной проектной проработки были выполнены все необходимые проверочные расчеты в соответствии с требованиями Правил Российского Морского

Регистра судоходства, результаты которых подтвердили выполнение всех требований Правил.

Результат указанной проектной проработки имеет достаточный объем, чтобы выступить судном-прототипом для выполнения дальнейших работ. На основании данных судна-прототипа были составлены основные аналитические зависимости - уравнения проектирования: весов; вместимости (объемов); остойчивости; коэффициента полноты ватерлинии; мощности; относительного удлинения и дополнительные уравнения.

Необходимо отметить, что для составления уравнения мощности, необходимо выполнить расчеты и исследования непосредственно связанные с формой корпуса судна. Данные исследования будут приведены в главе 3 настоящей работы.

Таким образом, по результатам исследований, изложенных во второй главе, обоснована и разработана концепция малого рыболовного траулера для акватории Балтийского моря. На основании предложенной концепции разработан аванпроект судна, соответствующего данной концепции и требованиям Правил Регистра. По результатам аванпроекта получены аналитические зависимости (уравнения проектирования), необходимые для работы над перспективным судном на последующих этапах проектирования.

В третьей главе «Экспериментальные исследования мореходных качеств МРТ для Балтики» представлены и обобщены результаты экспериментальных исследований мореходных качеств судов типа МРТ для Балтийского моря.

Для возможности составления уравнения мощности системы уравнений проектирования, необходимо произвести оценку буксировочного сопротивления и буксировочной мощности в зависимости от скорости судна. Указанную оценку на ранних стадиях проектирования можно выполнить при помощи современного программного обеспечения, например, ПО MaxSurf. Автором было выполнено моделирование формы корпуса судна с использованием ПО MaxSurf в модуле Modeler. Исходными данными для создания модели стал разработанный теоретический чертеж рисунок 4. Модель корпуса судна, созданная с использованием ПО MaxSurf, представлена на рисунке 6.

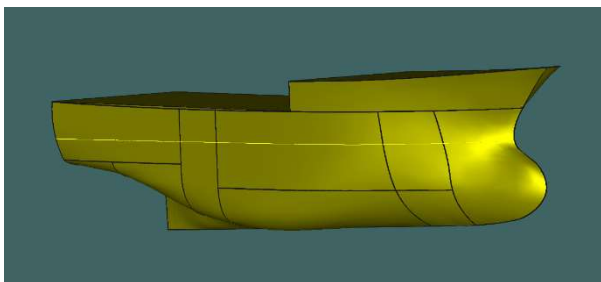


Рисунок 6 – 3D модель судна

Данное ПО также позволяет получить оценочные зависимости буксировочной мощности и коэффициента остаточного сопротивления от скорости движения и числа Фруда. Прогнозирование данных величин аналитическими методами может содержать заметные ошибки в

результатах расчётов, потому что в них не учитываются достаточно критические факторы, например, изменения ходовой посадки в зависимости от скорости судна. Без учета таких факторов получаемые аналитическими методами результаты могут иметь значительную погрешность. Следовательно, все исследования направленные на оптимизацию формы обводов корпуса желательно выполнять путём проведения модельных испытаний в опытовом бассейне.

Таким образом, для возможности составления уравнения мощности, была изготовлена модель судна – аванпроекта в масштабе 1:10, которая испытывалась в опытовом бассейне лаборатории мореходных качеств судов Научно-исследовательского центра судостроения ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (ЛМКС НИЦС КГТУ). В результате проведенных испытаний на тихой воде была определена зависимость коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда (рисунок 7).

С целью получения достоверной информации по мореходным качествам малых рыболовных судов, помимо модельных испытаний судна-прототипа, в ЛМКС НИЦС КГТУ были исследованы и другие суда подобного класса. В частности, результаты испытаний модели малого промыслового траулера с различными вариантами загрузки модели (теоретический чертёж представлен на рисунке 8) свидетельствуют о явлении значительного изменения ходовой посадки (дифферента) судна в зависимости от скорости судна. Результаты испытаний приведены на рисунках 9 и 10.

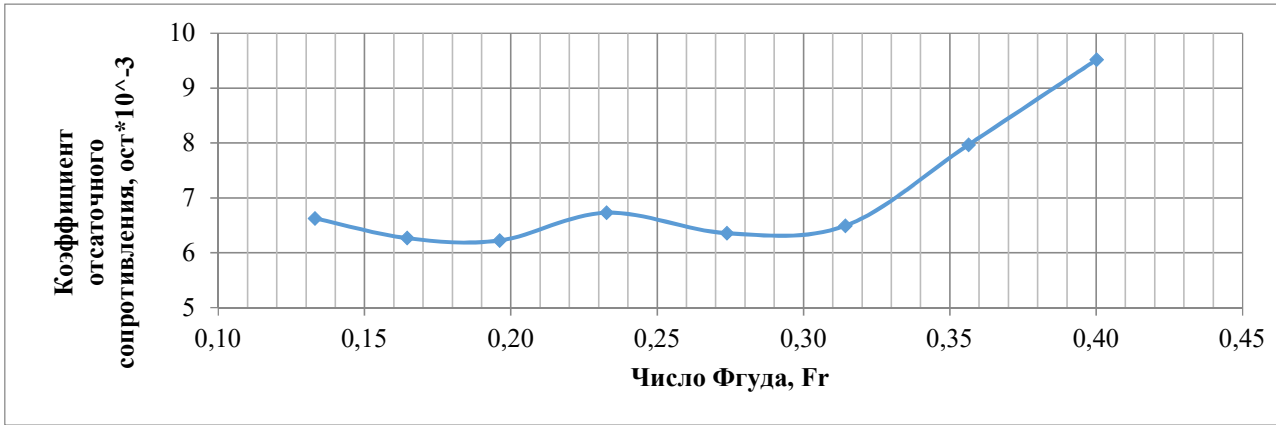


Рисунок 7 - Зависимость коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда

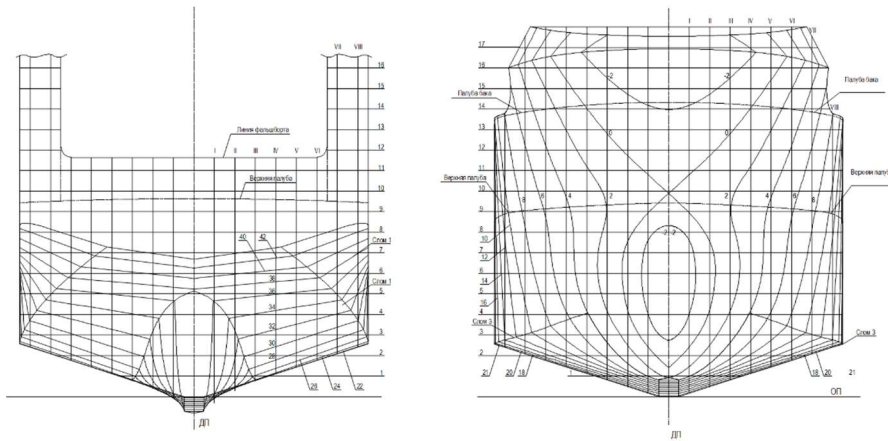


Рисунок 8 – Теоретический чертеж МРТК «Адомат»

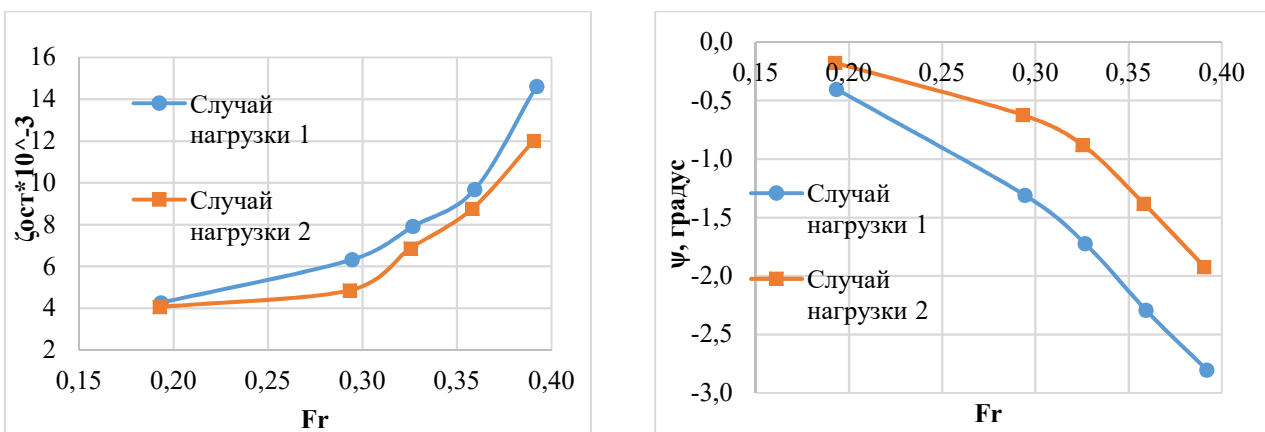


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента остаточного сопротивления (слева) и дифферента судна (справа) от числа Фруда



Рисунок 10 – Влияние угла дифферента на обтекание носовой оконечности судна на скорости 11 узлов при одинаковом водоизмещении ($F_r=0,39$) в первом (слева) и во втором (справа) случаях загрузки

Посадка в 1-ом случае на ровный киль. Посадка во 2-ом случае – с начальным дифферентом на корму 5 градусов, при этом осадка на миделе одинаковая, а водоизмещение во 2-ом случае загрузки на 5% больше, чем в 1-ом.

Анализ результатов проведенных испытаний показывает, что при одинаковой средней осадке, но при различных начальных дифферентах, коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна на расчетной скорости может различаться до 20%, а при одинаковом водоизмещении – до 30%. Прослеживается устойчивая взаимосвязь между ходовой (динамической) просадкой носовой оконечности и коэффициентом остаточного сопротивления корпуса судна. Оптимизируя начальный дифферент, можно существенно уменьшить коэффициент остаточного сопротивления. Для подтверждения данной гипотезы были проведены дополнительные испытания модели судна МРТК при постоянном водоизмещении, но с различными начальными значениями дифферента на корму. Результаты испытаний представлены на рисунках 11 и 12.

Анализ результатов, представленных на рисунках 11 и 12, показывает, что минимальный коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна, в диапазоне скоростей 8-11 узлов натурного судна, будет при углах начального дифферента в диапазоне от 1,6 до 2,2 градуса на корму. *Коэффициент остаточного сопротивления корпуса судна будет минимальным при условии, что судно будет двигаться на расчетной скорости на ровный киль.*

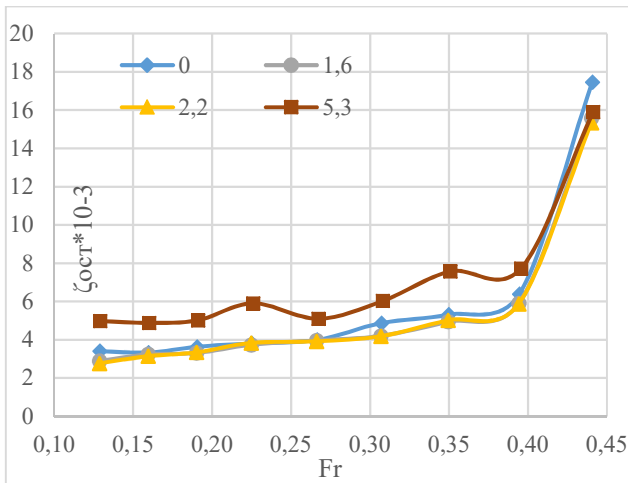


Рисунок 11 - Зависимость коэффициента остаточного сопротивления судна от числа Фруда при различных значениях начального дифферента. *Примечание: линии графиков для дифферента 1,6 и 2,2 градусов сливаются.*

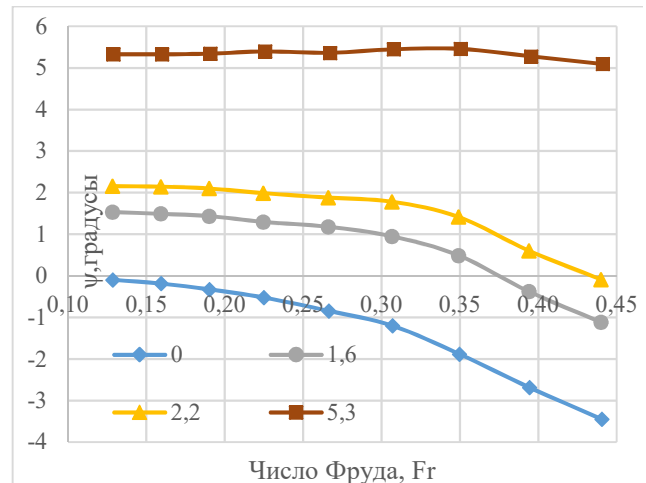


Рисунок 12 - Зависимость абсолютного дифферента судна от числа Фруда при различных значениях начального дифферента

Влияние наличия или отсутствия носового бульба на ходовые и мореходные качества судна при эксплуатации на тихой воде и на волнении, исследовано на модели траулера пр. В-410 «Марлин» польской постройки. Результаты экспериментов показали, что, как правило, бульб может быть оптимальным только на одной определенной скорости хода. Форму бульба обязательно необходимо отрабатывать в опытовом бассейне с целью минимизации негативных последствий на других режимах движения судна.

Цикл испытаний на волнении проводился с целью исследования заливаемости носовой оконечности малых промысловых судов, работающих в условиях короткого волнения Балтийского моря. Модель в каждом случае испытывалась при длине волны $0,8L$; $1,0L$ и $1,2L$, где L -длина судна. В результате данных испытаний был сделан вывод, что заливаемость носовой оконечности судна с бульбом меньше, чем без бульба. Однако автор пришел к выводу, что решающее значение здесь имеет высота надводного борта в носу. Ее увеличение на метр позволяет существенно уменьшить заливаемость.

В главе 4 «Разработка концептуального проекта МРТ для Балтики» представлен расчёт показателей экономической эффективности судна при работе в условиях Балтийского моря, а также выбор и обоснование основных характеристик МРТ с более лучшими экономическими показателями работы в заданных условиях.

Для выполнения технико-экономического расчета была разработана математическая модель судна и его жизненного цикла. Структурная блок-схема математической модели и ведения расчета представлена на рисунке 13.

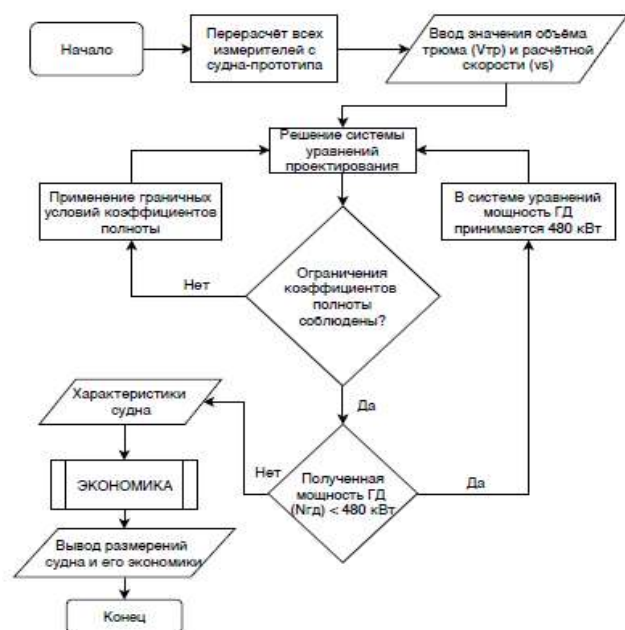


Рисунок 13 - Блок-схема математической модели судна и его жизненного цикла

Расчет включает в себя две основные составляющие: составление и решение системы уравнений проектирования с целью определения основных характеристик судов при вариации значений скорости и объема рыбного трюма судна, и экономический расчет для определения значений экономических критериев эффективности судна с полученными характеристиками.

Формирование основных уравнений проектирования было выполнено во второй главе

настоящего диссертационного исследования на основании анализа разработанного аванпроекта МРТ. Система уравнений включает в себя основные уравнения – весов, объемов (вместимости), плавучести, остойчивости и мощности, а также дополнительные уравнения – зависимости, определенные по различным рекомендациям.

В результате решения системы уравнений находятся следующие основные характеристики судна: скорость свободного хода (узлы), объем грузового трюма (m^3), массовое водоизмещение (тонны), длина (м), ширина (м), высота борта (м), осадка на миделе (м), коэффициент общей полноты, коэффициент полноты мидель-шпангоута, коэффициент полноты ватерлинии, автономность (сутки), мощность главного двигателя (кВт).

Стоит отметить, что система уравнений составлена таким образом, чтобы получать решение при варьировании следующих исходных данных - $V_{тр}$, m^3 - объем грузового трюма и V_s , узлы – скорость свободного хода судна. Варьирование сочетаний исходных данных позволит получить основные технические характеристики различных судов, а учет эксплуатационных факторов работы в конкретном районе

промысла позволит произвести сравнение их эффективности с точки зрения экономических критериев.

Для возможности учета экономических факторов, в математической модели были учтены затраты на проектирование, постройку и утилизацию судна (напрямую зависящие от размерений судна), а также эксплуатационные затраты судна, условно независимые от размерений судна (обслуживание, ремонт, зарплата, налоги и т.д.).

В качестве граничных условий и исходных данных для проведения данного расчета были приняты следующие параметры:

- скорость свободного хода судна – 7 – 11 узлов;
- объем грузового трюма – 80 – 150 м³;
- мощность ГД не менее 480 кВт;
- время с момента начала промысла до возвращения в порт не должно превышать 24 часа.

Максимальная скорость ограничена 11 узлами на основании результатов модельных испытаний, показывающих резкое возрастание буксировочного сопротивления на относительно больших скоростях (числах Фруда), а объемы трюма ограничены необходимостью доставки качественной рыбной продукции на берег. При этом, минимальная мощность ГД, предполагаемая к установке – 480 кВт. Данная величина обусловлена мощностью ГД, необходимой для возможности буксировки трала на промысле.

В результате были получены сочетания основных характеристики судов для каждого значения объема трюма и скорости свободного хода.

Для оценки экономической эффективности судна использовались экономические критерии - чистый дисконтированный доход (NPV) и эффективность капиталовложения (Fкап). Графики изменения критериев эффективности Fкап и NPV от объема трюма и скорости свободного хода представлены на рисунках 14 и 15.

На основании расчета получено, что наиболее экономически эффективным будет судно с объемом трюма 110 м³ и скоростью свободного хода 10 узлов, имеющее следующие основные характеристики, представленные в таблице 1.

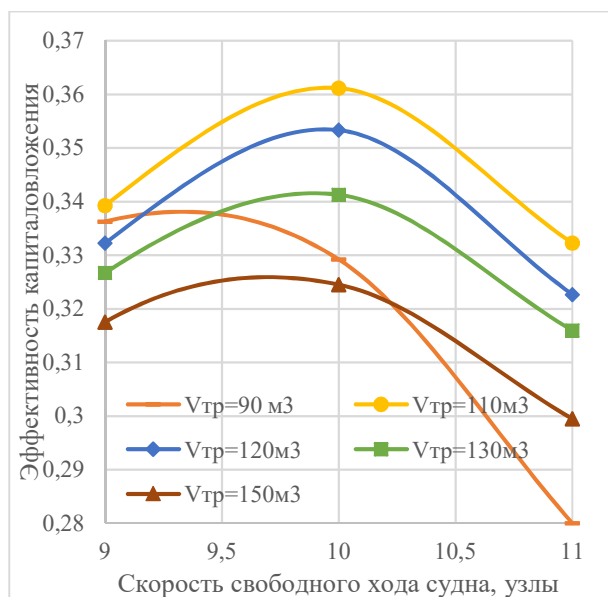


Рисунок 14 - Зависимость эффективности капиталовложения от объема трюма и скорости судна

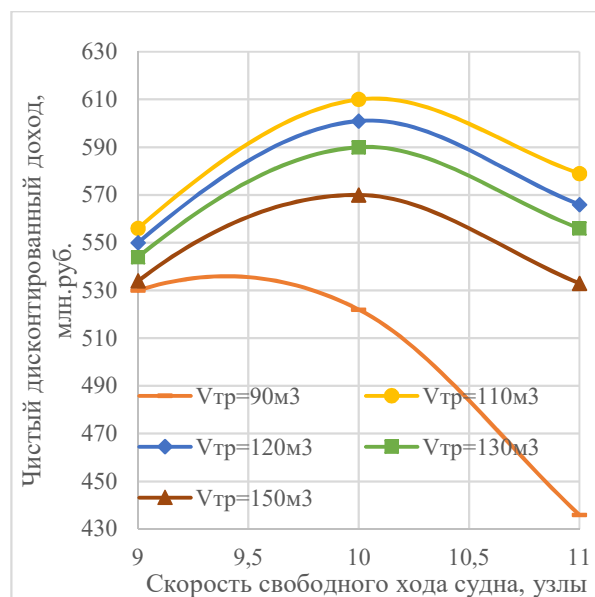


Рисунок 15 - Зависимость чистого дисконтированного дохода от объема трюма и скорости судна

Таблица 1 – Основные характеристики наиболее экономически эффективного судна для работы в акватории Балтийского моря

Длина расчетная –	22,2м	Коэф. общей полноты –	0,673
Ширина расчетная -	7,80м	Коэф. полноты мидель-шпангоута –	0,922
Высота борта –	4,88м	Коэф. полноты ватерлинии –	0,859
Осадка по КВл на миделе –	2,64 м	Мощность ГД –	601 кВт
Объем трюмов -	110 м ³	Скорость свободного хода –	10 узл.

На основании вышеуказанных данных, а также рекомендаций, полученных по результатам испытаний физических моделей судов в опытовом бассейне, был разработан предварительный теоретический чертеж судна и создана трехмерная модель, с использованием ПО MaxSurf. С целью подтверждения правильности принятых решений при разработке нового теоретического чертежа, был выполнен сравнительный анализ зависимости изменения коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда по отношению к исходному судну (аванпроект). Данный расчет проводился с использованием ПО MaxSurf Resistance. Сравнение результатов оценочного расчета приведено на рисунке 16, а визуально сравнить картину волнообразования можно на рисунках 17 и 18.

В результате сравнения результатов расчетов (рис. 16 – 18), можно сделать вывод, что предлагаемый новый корпус обладает лучшими мореходными качествами, по сравнению с судном – аванпроектом. Это наблюдается на графиках изменения коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда; на картинах волнообразования в средней и кормовой частях судна корабельная волна у нового судна значительно меньше в размерах относительно корпуса, а за транцем нового судна невозмущенная область воды меньше, чем у судна-аванпроекта.

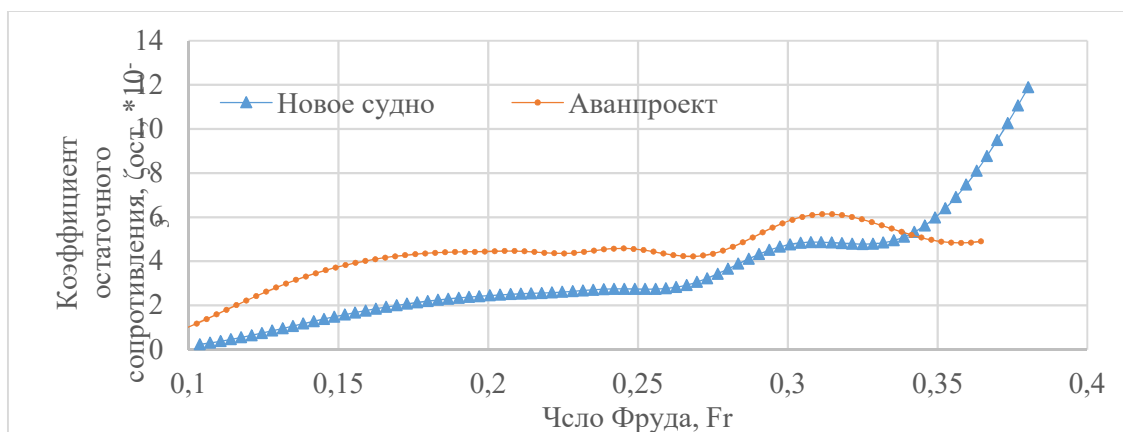


Рисунок 16 – Зависимость изменения коэффициента остаточного сопротивления от числа Фруда для нового судна и судна – аванпроекта, по расчету методом Ван Оортмерсена

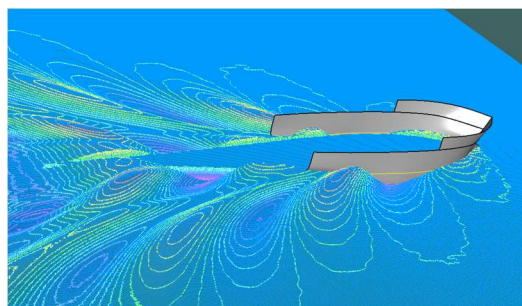
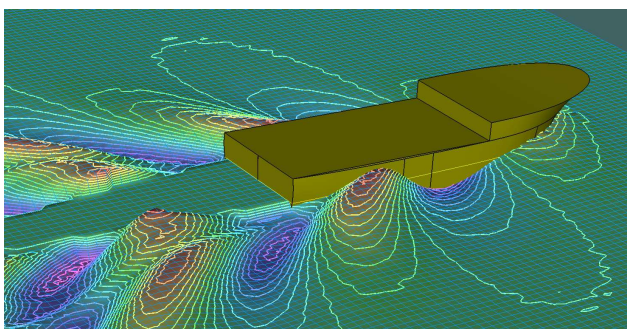
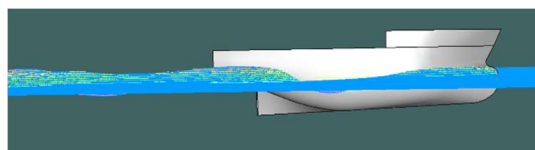
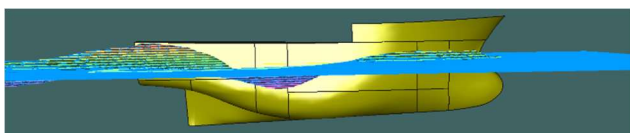


Рисунок 17 – Картина волнообразования от движения судна аванпроекта. Скорость 10 узлов

Рисунок 18 – Картина волнообразования от движения нового судна. Скорость 10 узлов

Анализ технико-экономического расчета показывает, что работа промыслового флота из 12 судов с представленными характеристиками позволяет полностью вылавливать рыбу в объеме выделяемых квоты, а срок окупаемости данных судов составляет около 3 лет.

Автор понимает, что ряд факторов, способных повлиять на результаты расчетов и, следовательно, на основные характеристики судна могут быть не учтены, или учтены неправильно, например – значение количества выловленной рыбы за 1 час промысла. Однако, они могут и должны быть учтены на следующих этапах проектирования, в первую очередь, опираясь на информацию и требования судовладельца, которому и предстоит работать на данном судне. В свою очередь, уточнение информации не отразится на концепции современного судна типа МРТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработана концепция универсального рыболовного траулера для ведения промысла в 26 подрайоне Балтийского моря, учитывающая ключевые факторы работы в заданном регионе;

- разработан аванпроект судна, соответствующий требованиям Правил Регистра, который может быть использован в качестве судна-прототипа при разработке судов подобного класса и назначения;

- разработан предварительный теоретический чертеж нового МРС с лучшими мореходными качествами;

- разработано техническое задание на проектирование рыболовного судна на последующих стадиях.

- получены аналитические зависимости – уравнения проектирования, необходимые для выполнения работ на последующих этапах проектирования;

- установлены основные элементы судна, на основании исследований физических моделей судов в опытовом бассейне, которые необходимо учитывать при проектировании МРС для обеспечения лучших мореходных качеств;

- определены основные технические характеристики рыболовного судна для эффективной работы в акватории Балтийского моря;

В результате проведенных исследований **решена научная задача** обеспечения прибрежного рыболовства в Балтийском море - предлагаемая концепция рыболовного флота численностью 12 судов, способна обеспечить полный вылов морских биоресурсов в объеме выделяемых квот (общих допустимых уловов).

Изложенный в диссертации подход к проектированию судна рекомендуется к созданию проектов эффективных рыболовных судов для любого заданного района промысла.

В перспективе планируется создание проекта универсального рыболовного судна для прибрежного промысла во всех морских районах РФ.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Основное содержание и результаты диссертационного исследования отражены в публикациях:

научные статьи: а) опубликованные в ведущих российских изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации основных положений диссертации на соискание ученой степени кандидата наук:

1. Чуреев Е.А. К вопросу о выборе архитектурно – конструктивного типа малого рыболовного траулера для Балтийского моря // Морские интеллектуальные технологии. 2017. №3(37). С. 35-38 (автор 100%, рецензируется базой Web of Science).

2. Чуреев Е.А. Исследование формы обводов маломерного рыболовного траулера с целью повышения его мореходных качеств // Морские интеллектуальные технологии. 2018. №4(42). С. 36-43 (автор 100%, рецензируется базой Web of Science).

3. Чуреев Е.А., Орлов О.П., Якута И.В. Исследование влияния строительного дифферента малых промысловых судов с большой полнотой корпуса на мореходные качества // Вестник АГТУ 2019 №4. С. 30-38. (автор 33%)

4. Обоснование и выбор основных характеристик малого рыболовного судна с большой полнотой корпуса / Е. А. Чуреев, Д. А. Романюта, Д. А. Белоусов, И. И. Николаев // Известия КГТУ. – 2022. – № 67. – С. 71-86. (автор 25%).

5. Чуреев Е. А., Орлов О. П. К вопросу о модернизации современных малых промысловых судов // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 148– 159. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-70-148-159. (автор 50%).

б) опубликованные в сборниках статей и материалах конференций:

6. Чуреев Е.А. Современное состояние маломерного флота и пути его развития // Тезисы докладов Конференции молодых ученых и специалистов Крыловского государственного научного центра. 2015 (автор 100%).

7. Чуреев Е.А. Несоответствие мощностей промыслового флота и береговой инфраструктуры в Калининградской области // IV международный балтийский форум: материалы Международного морского форума. 2016 (автор 100%).

8. Чуреев Е.А. Некоторые вопросы особенностей проектирования маломерного рыболовного траулера для Северо- Западного региона России // V международный балтийский форум. V Международная научная конференция «Морская техника и безопасность морской индустрии»: тезисы докладов. Часть I. 2017. С. 99-101. (автор 100%).

9. Чуреев Е.А. Исследование формы обводов маломерного рыболовного траулера с целью повышения его мореходных качеств // Материалы VI Международного Балтийского морского форума, в 6 томах. Том 2. 2018. С. 183-194. (автор 100%).

10. Злыгостев Д.В., Чуреев Е.А., Николаев И.И., Батуев А.Д. Обоснование необходимости создания методики определения буксировочного сопротивления малых промысловых судов // Материалы VII Международного Балтийского морского форума: в 6 т. Том 2. 2019. С. 84-93. (автор 25%)

11. Батуев А.Д., Злыгостев Д.В., Чуреев Е.А. Генератор шквала // материалы VII Международного Балтийского морского форума: в 6 т. Том 2. 2019. С. 46-50. (автор 33%).

Патенты:

1. Батуев А.Д., Злыгостев Д.В., Чуреев Е.А. Аэродинамическая труба // Патент Российской Федерации на полезную модель №184761 от 15 июня 2018. (доля автора 33%).