

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный  
университет»

На правах рукописи

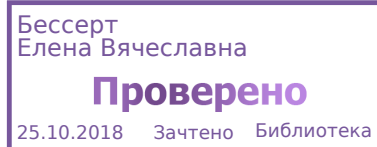
Литовкин Данил Андреевич

**Исследование вопросов ходкости в задачах  
проектирования судов ледового плавания**

Направление подготовки

26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов  
морской инфраструктуры»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**



2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный технический университет»

Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент Бурменский Андрей Дмитриевич
Рецензент	кандидат технических наук, доцент Журбин Олег Владимирович, начальник отделения диагностики искусственных сооружений Дальневосточного филиала ФАУ «РОСДОРНИИ»

Защита состоится «27» июня 2018 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина 27, ауд. 222

Автореферат разослан \_\_ июня 2018 г.

Секретарь ГЭК .....Е. И. Селиванов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для России важность морского транспорта определяется её положением на берегах трёх океанов и протяжённостью морской границы 42 тысячи километров. Практически все моря, омывающие территорию России, являются замерзающими, поэтому большинство судов российского транспортного флота должно быть в той или иной мере приспособлено к работе в ледовых условиях. Одними из таких судов являются суда активного ледового плавания.

Изменение климата в Арктическом регионе делает перспективным использование Северный морской путь в качестве транзитного транспортного коридора. Работа транспортных судов на транзитных линиях Северного морского пути характеризуется двумя различными условиями навигации: плавание во льдах и в условиях чистой воды. Причем протяженность участков чистой воды на транзитных линиях составляет от 60 до 100 процентов в зависимости от периода навигации.

Особенность выбора суммарной мощности энергетической установки состоит в том, что максимальная мощность выбирается из условий ледовой ходкости. Для этого наряду с ледовой ходкостью, состав и мощность энергетической установки надо согласовывать с параметрами ходкости на чистой воде. Если вопросы ледовой ходкости судов активного ледового плавания изучены достаточно подробно, то ходкость таких судов в условиях чистой воды исследованы еще недостаточно.

Целью магистерской диссертации является исследование вопросов ходкости транспортных судов активного ледового плавания в условиях плавания по чистой воде с целью использования результатов исследования в математической модели проектирования (ММП) судов данного класса.

Основными задачами диссертационной работы являются:

– сбор технической информации по характеристикам современных и перспективных транспортных судов активного ледового плавания;

- на основе собранной технической информации проведение анализа архитектурно-конструктивных особенностей транспортных судов активного ледового плавания;
- проведение анализа методик расчетов ходкости и определения мощности главной энергетической установки транспортных судов активного ледового плавания с учетом двухрежимности их эксплуатации;
- разработка и выполнение численной и экспериментальной моделей корпуса транспортного сухогрузного судна активного ледового плавания;
- выполнение расчетов сопротивления приближенными статистическими методами;
- выполнение систематизации и анализа полученных результатов.

Объектом исследования в данной диссертации являются транспортные суда активного ледового плавания.

Предмет исследования: условия эксплуатации на транспортных линиях СМП, форма корпуса судов активного ледового плавания, а так же ходкость судов активного ледового плавания в условиях чистой воды.

Методы исследования. Для решения поставленных задач и достижения намеченной цели в исследованиях использованы методы научно-технического обзора, современные методы расчета мореходных качеств судов, а так же приведены экспериментальные и численные методы определения буксировочного сопротивления.

Научная новизна результатов исследования заключается в получении численных и экспериментальных данных по ходкости транспортных судов активного ледового плавания в условиях чистой воды.

Практическая значимость и ценность работы заключается в использовании полученных результатов в математической модели проектирования транспортных судов активного ледового плавания. Внедрение исследований в учебный процесс и выполнение научных грантов.

Личный вклад автора заключается в выполнении теоретического и практического исследования по вопросу ходкости судов активного

ледового плавания в условиях чистой воды, включая сбор информации, анализ архитектурно-конструктивных особенностей судов, разработки численной и проекта экспериментальной моделей и проведения численных экспериментов.

На защиту выносятся следующие основные результаты:

1 Результаты анализа методик расчета ходкости судов в условиях чистой воды.

2 Результаты анализа архитектурно-конструктивных особенностей современных транспортных судов активного ледового плавания.

3 Результаты разработки численной модели корпуса судна активного ледового плавания.

4 Проект экспериментальной модели для исследования ходкости судна активного ледового плавания в опытовом бассейне.

5 Результаты расчетов ходкости средствами вычислительной гидродинамики и расчетов ходкости статистическими методами.

Апробация работы и публикации. Результаты и положения, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на научно-технических семинарах кафедры «Кораблестроение» КнАГУ, на XVI Молодежной международной научно-технической конференции «БУДУЩЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ НАУКИ», посвященной 100-летию НГТУ им. Р.Е. Алексеева (г. Нижний Новгород, 2017), а также на ежегодных научно-технических конференциях студентов и аспирантов КнАГУ (г. Комсомольск-на-Амуре, 2017, 2018 г.).

По теме диссертации автором опубликовано 4 печатные работы:

1. **Литовкин, Д.А.** Конструктивные особенности транспортных судов активного ледового плавания / Д.А. Литовкин, А.Д. Бурменский // Будущее технической науки: сборник материалов XVI Международной молодежной научно-техн. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2017.– С. 373.

2. **Литовкин, Д.А.** Развитие транспортных судов активного ледового плавания / Д.А. Литовкин, А.Д. Бурменский // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, Апрель 01–21, 2017. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2017. – С. 1141-1143.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования и определены последовательность решения поставленных задач.

**В первом разделе** выполнен обзорный анализ развития судов ледового плавания исторического освоения северного морского пути, рассмотрена экономическая значимость северного морского пути, перспективы его развития как транспортного транзитного коридора.

Экономическая значимость северного морского пути не ограничивается только каботажными перевозками по снабжению северного побережья России и экспорта природных ресурсов. Использование северного морского пути позволяет сократить рейс на тысячи километров по сравнению от рейса через Суэцкий канал, когда по мере потепления климата, летний лед Арктики отступает. Большие перспективы использования северного морского пути так же связаны с открытием транзитных перевозок грузов по его линиям. В России уже имеется большой опыт по перевозке контейнеров на трассах северного морского пути. Благодаря судам ледового класса Arc7 которые позволили организовывать практически круглогодичную перевозку контейнеров в сложных ледовых условиях Арктики.

**Во втором разделе** рассматриваются архитектурно-конструктивные особенности транспортных судов ледового плавания, выполнен обзор развития и современного состояние транспортных судов ледового плавания

Для безопасной и эффективной перевозки грузов в ледовых условиях необходимы суда специальной усиленной конструкции, которые способны во льдах самостоятельно не подвергаясь опасности получения ледовых повреждений. Суда ледового плавания имеют специальную форму обводов корпуса, обеспечивающую эффективное разрушение ледяного покрова, притапливание и раздвигание битого льда. Мощность энергетической установки этих судов и ее маневренные качества, как правило, выше, чем у обычных судов таких же размерений.. Выполнение корпуса судна с двойными бортами и двойным дном и с упрощенными обводами позволяет судну плавать в условиях мелкобитого льда северных арктических морей.

Принцип двойного действия для судна ледового класса заключается в возможности движения кормой вперед и разрушения льда сразу двумя режущими кромками. Для возможности судна совершать движение кормой вперед и для повышения маневренных характеристик во льдах предполагается установка винто-рулевых колонок типа Azipod.

Проведен анализ требований нормативных документов к судам ледового класса и приведены данные соответствия ледовых классов различных классификационных обществ

Российский морской регистр судоходства осуществляет обеспечение безопасности мореплавания. Согласно ему все суда ледового плавания в зависимости от их назначения и конструкции разделены на категории. Установлено девять категорий судов ледового плавания.

Согласно полярному кодексу все суда разделены на категории А, В и С. К судам категории А относятся суда эксплуатирующийся в Полярных водах покрытых льдом, включая двух- и многолетние льды. Судно этой категории может работать в покрытых льдом водах в условиях, когда многолетний лёд не создает конструктивный риск для судна.

К судам категории В относятся суда эксплуатирующийся Полярные воды, покрытые льдом в условиях однолетнего льда. Судно этой категории

может работать в водах, покрытых льдом, в том числе старым льдом. Опасными факторами являются Работа в однолетнем льду.

К судам категории С относятся суда эксплуатирующийся Полярные воды, свободные ото льда. Суда этой категории могут работать в полярных водах только в летне-осенний период, когда лед не представляет конструктивного риска для судна. Требований к ледовым подкреплениям нет. Корпус судна должен иметь двойной борт.

Изучены энергетические установки и движители.

Так же во второй главе пошагово описано создание теоретическо чертежа в пакете Auto CAD и создание плоскости корпуса судна в пакете Free!Ship(риснок1-2)

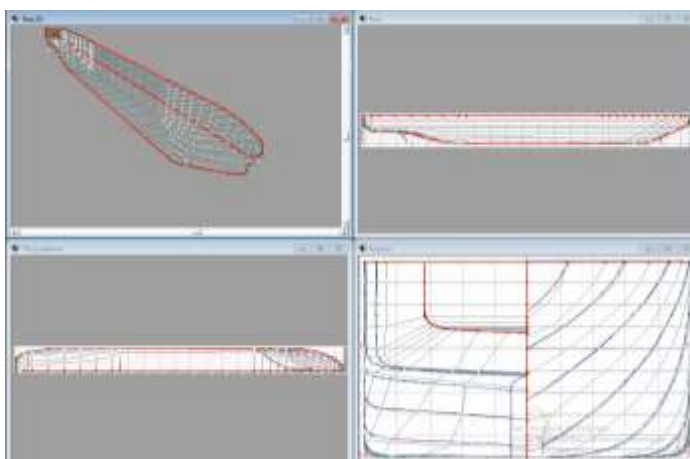


Рисунок 1 – спроектированный корпус модели в пакете Free!Ship

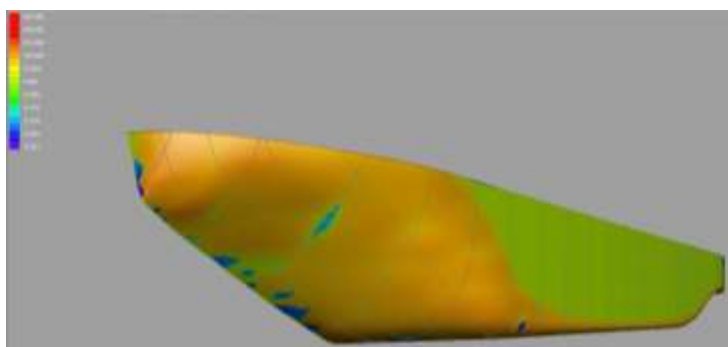


Рисунок 2 – искривления по Гаусу

**В третьем разделе** было изучено исследование ходкости методом вычислительной гидродинамики и приведены основные пакеты реализации.

Вычислительная гидродинамика (англ. computational fluid dynamics, CFD) — подраздел механики сплошных сред, включающий совокупность



физических, математических и численных методов, предназначенных для вычисления характеристик потоковых процессов.

Вычисления проходят на ЭВМ в CFD пакетах. Рассмотрим некоторые из них такие как: Flow 3D, Flow Vision, Flooend.

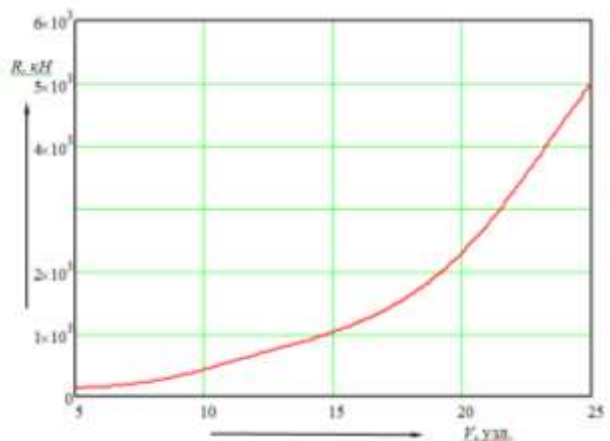


Рисунок 3 – результаты расчетов сопротивления в пакете Flow3D

Так же в данной главе была создана и доработана 3D модель корпуса судна. Затем проведен расчет с применением одной из программ.

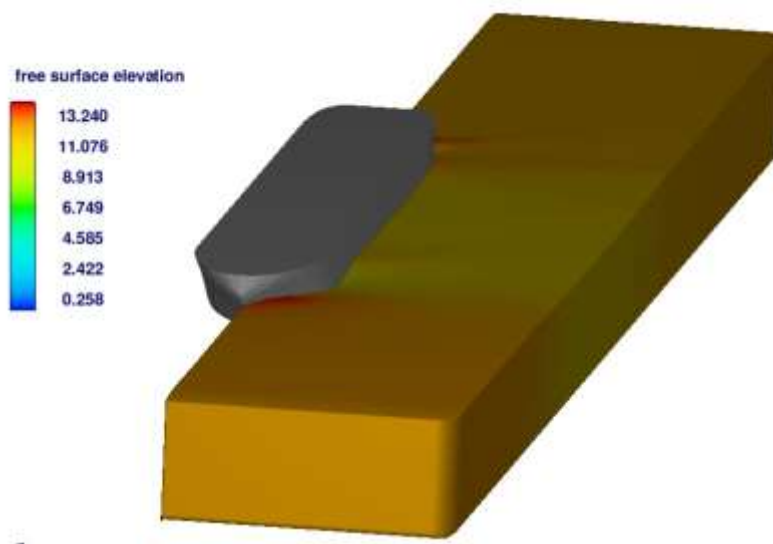


Рисунок 4 –эксперимент 3D модель судна вCFD пакете.

**В четвёртом разделе** идет подробное описание опытового бассейна и экспериментальной установки

Размеры металлической чаши бассейна  $L \times B \times H = 40 \times 4 \times 3$  м с доковой частью размерами  $L \times B \times H = 4,5 \times 1,6 \times 3$  м, поэтому бассейн относится к разряду малых. В задней части бассейна установлен пластинчатый волнопродуктор,

способный генерировать регулярное фронтальное волнение заданной интенсивности. По периметру бортов бассейна установлены волногасители. Дальневосточный гидродинамический опытовый бассейн оснащен двумя буксировочными системами: буксировочной тележкой (рисунок 2) и гравитационной буксировочной системой (ГБС) (рисунок 3).



Рисунок 2 – Буксировочная тележка с моделью судна



Рисунок 3 – Движение модели судна с использованием ГБС

Привод буксировочной тележки способен обеспечивать минимальную устойчивую скорость буксировки модели 0,01 м/с, а максимальную – 4,8 м/с. Скорость движения модели при использовании гравитационной буксировочной системы зависит от величины установленного буксировочного груза.

Гравитационная буксировочная система (ГБС) является системой дополняющей буксировочную тележку и поэтому может полностью или частично демонтироваться.

Так же в данной главе описан предстоящий эксперимент и метод пересчета модели на натурные размеры судна.

Итогом буксировочных испытаний является получение зависимости коэффициента остаточного сопротивления  $C_R$  от числа  $Fr_M$ .

Дальнейший пересчет сопротивления на натурное судно возможен по схеме Фруда:

$$C_{RM} = C_{RH} \text{ при } Fr_M = Fr_H \quad (1)$$

или МКОБ с выделением из  $\tilde{N}_R$  коэффициента волнового сопротивления  $C_{WM} = C_{WH}$  при  $Fr_M = Fr_H$  и постоянного значения форм-фактора  $k_{\phi M} = k_{\phi H}$ .

Приведен и описан новый, для опытового бассейна КНАГУ, метод создания экспериментальной модели.

Основным методом создания модели в опытовом бассейне КНАГУ является выточка модели судна на станке с ЧПУ из деревянного болвана. К явным недостаткам можно отнести такое явление как «дыхание» дерева. Исходный материал то расширяется от влаги, то сжимается от высыхания. После нанесения лакокрасочного покрытия по корпусу модели проявляются поверхностные трещины, фактура дерева, расслоения некоторых участков, что в совокупности приводит преждевременному ремонту, что в свою очередь вынуждает прерывать эксперименты на воде.

В связи с этим был предложен новый метод создания модели с применением набора из дерева, насыщением переборок плотным пенопластом и оклейкой корпуса стеклотканью с применением импортной эпоксидной смолы.

**В пятом разделе** был проведен расчет ходкости статистическим методом. Так же был сделан вывод и проведено сравнение статистического метода и метода вычислительной гидродинамики.

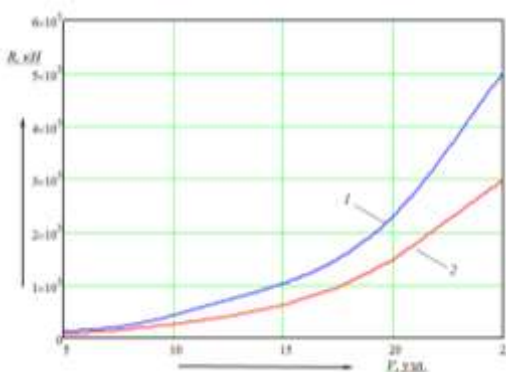


Рисунок 5 – Сравнение результаты расчетов сопротивления по методу Холтропа (1) и в пакете Flow3D (2)

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

В диссертационной работе проведено исследование, имеющее практическое значение для разработки методик проектирования перспективных судов активного ледового плавания.

Основные результаты диссертационной работы состоят в следующем:

- проведен сбор технической информации по характеристикам современных и перспективных транспортных судов активного ледового плавания;
- на основе собранной технической информации проведен анализ архитектурно-конструктивных особенностей транспортных судов активного ледового плавания;
- проведен анализ методик расчетов ходкости и определения мощности главной энергетической установки транспортных судов активного ледового плавания с учетом двухрежимности их эксплуатации;
- разработаны численная и проект экспериментальной моделей корпуса транспортного сухогрузного судна активного ледового плавания;
- выполнены численные расчеты определения буксировочной мощности методами вычислительной гидродинамики в пакете Flow3D;
- рассмотрена методика буксировочных экспериментов в опытовом бассейне с целью определения сопротивления корпуса судна активного ледового плавания;
- выполнены расчеты сопротивления приближенными статистическими методами;
- выполнен анализ полученных результатов.