

На правах рукописи

МихВ

Миханюшин Виктор Викторович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
СУДОВЫХ ПРОПУЛЬСИВНЫХ УСТАНОВОК**

Специальность 2.4.2 – Электротехнические
комплексы и системы (технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Комсомольск-на-Амуре

2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении (ФГАОУ) высшего образования (ВО) «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ) и федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении (ФГБОУ) ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского» (МГУ им. адм. Г. И. Невельского).

Научный руководитель: **Бурков Алексей Федорович**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Мельниченко Олег Валерьевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Иркутский государственный университет путей
сообщения», заведующий кафедрой
«Электроподвижной состав»

Константинов Андрей Михайлович,
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Дальневосточный государственный университет
путей сообщения», доцент кафедры «Системы
электрооборудования»

Ведущая организация: **ФГБУН «Институт проблем морских технологий
им. академика М. Д. Агеева» (ИПМТ) ДВО РАН**,
г. Владивосток

Защита состоится «14» июня 2024 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета 99.2.140.02 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 201-3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27 и на сайте www.knastu.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 99.2.140.02
к.т.н., доцент



Гудим А. С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Основные направления дальнейшего развития отечественного судостроения изложены в «Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года» (Стратегии), утвержденной распоряжением Правительства от 08.12.2010 № 2205-р, которая направлена на укрепление позиций России в мировой морской отрасли, обусловленных повышением конкурентоспособности.

Начало XXI в. характеризуется повышенным интересом и интенсивным развитием теории и практики судовых гребных электрических установок (ГЭУ).

К факторам, сдерживающим более интенсивное развитие судовых ГЭУ, относится отсутствие их приемлемой функциональной схемы, обладающей универсальностью, обусловленной возможностью ее применения для судов-электроходов любого функционального назначения.

Известно, что развитие отраслей науки и техники основывается на результатах исследований, сборе и анализе фактов, которые упорядочиваются и систематизируются (классифицируются). Развитие ГЭУ привело к необходимости корректировки и дополнения существующих классификационных признаков.

Анализ научно-технической литературы позволяет сделать вывод об отсутствии общепринятой классификации судовых ГЭУ, включающей приемлемый диапазон классификационных признаков, наиболее полно характеризующих особенности отдельных вариантов ГЭУ. Следовательно, разработка классификации ГЭУ судов, обусловленная, в первую очередь, увеличением их количества и функций, становится вынужденной необходимостью.

Обособленную группу электроходов составляют малотоннажные суда прибрежного и внутривортового плавания с ГЭУ (буксиры, катера, паромы и др.), которые значительную часть времени эксплуатации работают в переходных и долеговых режимах, снижающих эффективность их технической эксплуатации по следующим основным причинам: увеличивается удельный расход топлива; ухудшаются условия его сгорания в первичных двигателях, увеличивая содержание вредных веществ в выхлопных газах и др.

Таким образом, тема диссертационной работы, направленная на корректно обоснованные решения научно-технических задач по совершенствованию ГЭУ малотоннажных судов, как электротехнических пропульсивных установок (ПУ), с целью повышения их энергетической и экологической эффективности, является актуальной.

Объект и предмет исследований. К объекту исследований относятся электротехнические комплексы судовых пропульсивных установок (ПУ).

Предметом исследований являются взаимосвязи отдельных компонентов и процессы при их функционировании в составе судовых комбинированных энергетических установок (КЭУ).

Степень разработанности темы исследований. Настоящее диссертационное исследование выполнено на основе и с учетом имеющихся научно-технических результатов по тематике, полученных Вольдеком А. И., Китаенко Г. И., Копыловым И. П., Костенко М. П., Полонским В. И., Романовским В. В., Хайкиным А. Б. и др.

Цель и задачи исследований. Целью исследований является совершенствование электротехнических комплексов ПУ малотоннажных судов, направленное на повышение энергетической и экологической эффективности ГЭУ на основании обзора и анализа основных вариантов судовых пропульсивных комплексов (ПК) и научно-технических решений основных ГЭУ эксплуатируемых судов-электроходов, модернизации с использованием элементов полупроводниковой техники, аналитических и экспериментальных исследований, сравнительных оценок.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие основные задачи:

- разработана функциональная схема электротехнических комплексов ГЭУ, обладающая приемлемой универсальностью, заключающейся в возможности ее использования для судов с электродвижением различного функционального назначения;

- предложена классификация ГЭУ судов, отличающаяся от известных необходимым и достаточным диапазоном классификационных признаков, наиболее полно отражающих особенности отдельных групп ГЭУ;

- разработан способ управления комбинированной энергетической установкой (КЭУ), повышающий эффективность функционирования судовых ПК;

- разработана математическая модель КЭУ на основе компонентов предложенной схемы приемлемого варианта силовых каналов с целью их функционирования в составе электротехнического комплекса КЭУ;

- создана имитационная модель на основе математических выражений для выполнения аналитических исследований необходимых режимов функционирования КЭУ, обусловленных технической реализацией предложенных решений, направленных на повышение эффективности функционирования судовых ПК;

- выполнены необходимые экспериментальные исследования для оценки адекватности аналитических исследований.

Научная новизна состоит в следующих положениях:

- разработана функциональная схема электротехнических комплексов ГЭУ, обладающая приемлемой универсальностью, заключающейся в возможности ее использования для судов с электродвижением различного функционального назначения;

- предложена классификация ГЭУ судов, отличающаяся от известных необходимым и достаточным диапазоном классификационных признаков, наиболее полно отражающих особенности отдельных групп ГЭУ;

- разработан способ управления КЭУ, повышающий энергетическую и экологическую эффективность функционирования судовых ПК, защищенный патентом на изобретение.

К практической значимости работы относятся:

- полученные по результатам выполненного ретроспективного анализа и оценки современного состояния и перспектив развития судов Дальневосточного бассейна приемлемые для исследований варианты ГЭУ;

- определенные с использованием функций алгебры логики (ФАЛ) и результатов анализа основных научно-технических решений схем главного тока ГЭУ, целесообразные для применения варианты ПК судов;

- предложенная экспериментальная установка, позволяющая выполнять физическое моделирование режимов работы КЭУ, и полученные результаты аналитических расчетов и экспериментальных исследований режимов работы КЭУ.

Методология и методы исследований. Методология исследований при выполнении диссертационной работы обусловлена применением для решения сформулированных задач электротехнических и электромеханических теорий (электрических цепей, электрических машин), ФАЛ, методов математического, имитационного и физического моделирования.

Положения, выносимые на защиту. К основным положениям и результатам работы, выносимым на защиту, относятся:

- функциональная схема электротехнических комплексов ГЭУ, обладающая приемлемой универсальностью, заключающейся в возможности ее использования для судов с электродвижением различного функционального назначения;

- классификация ГЭУ судов, отличающаяся от известных необходимым и достаточным диапазоном классификационных признаков, наиболее полно отражающих особенности отдельных групп ГЭУ;

- способ управления КЭУ, повышающий энергетические и экологические показатели судовых ПК, защищенный патентами на изобретения.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует следующим областям исследования паспорта научной специальности 2.4.2. – Электротехнические комплексы и системы: п.1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования; п.2 Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов; п.3 Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждена полученными результатами аналитических и экспериментальных исследований, их сравнительным анализом, наличием патентов, внедрением результатов работы.

Основные положения и результаты работы представлены и обсуждались на: X международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Интеллектуальный потенциал ВУЗов – на развитие Дальневосточного региона России», г. Владивосток, 2008 г.; Восьмой международной научно-практической конференции «Проблемы транспорта Дальнего Востока», г. Владивосток, 2009 г.; Международных научных чтениях «Приморские зори-2009», г. Владивосток, 2009 г.; Международной конференции, посвященной 200-летию подготовки кадров для водного транспорта России «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление», г. Санкт-Петербург, 2009 г.; XVI международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 2010 г.; 60-й международной молодежной научно-технической конференции «Молодежь. Наука. Инновации», г. Владивосток, 2012 г. и др.

К реализации отдельных результатов исследований относятся: используемая в учебном и научно-техническом процессе в ДВГТРУ, ДВФУ и МГУ им. адм. Г. И. Невельского (г. Владивосток) разработанная функциональная схема ГЭУ и предложенная классификация судовых ГЭУ.

Работа в полном объеме докладывалась на совместном заседании кафедр «Теоретические основы электротехники» и «Электрооборудование и автоматика судов» МГУ им. адм. Г. И. Невельского.

Основное содержание работы отражено в 22 основных публикациях (научных статьях, патентах и докладах на конференциях), включая 4 статьи в рецензируемых научных изданиях перечня ВАК, 2 публикации в изданиях базы данных Scopus, 1 монографию, 3 патента на изобретения.

В работах 1 и 16 списка, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежит постановка задачи и теоретическая часть; обработка результатов выполнена совместно с соавтором. В публикациях 3, 4 и 5 постановка задачи, теоретическая часть и обработка результатов выполнены совместно с соавторами. В работах 6, 10 и 13 и 14 списка соискателю принадлежит теоретическая часть и обработка результатов; постановка задачи выполнена совместно с соавторами. В публикациях 20, 21 и 22 соискателю принадлежит постановка задачи и обработка результатов; теоретическая часть выполнена совместно с соавторами.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 125 наименований. Общий объем диссертации составляет 223 страниц основного текста, включая 38 рисунков, 2 таблицы и 9 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** отражено современное состояние научных исследований и практические результаты в области электротехнических комплексов судовых ПУ. Обоснована актуальность темы на основании преемственности исследований и существующих результатов, сформулированы цель и задачи, изложены сведения о значимости работы. Описаны методы исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В **первой главе** рассмотрена общая характеристика судовых ПК.

Научной основой для решения сформулированных задач может быть принято представление о судовом ПК как о системном объекте, модель которого может быть представлена как:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{ГД}(n_{ГД}) \Leftrightarrow (N_{ГД}(n_{ГД})\eta_n\eta_{en} = N_{ГВ}(n_{ГВ})); \\ \left(N_{ГВ}(n_{ГВ}) = \frac{P_{ГВ}(v_p n_{ГВ})v_p}{\eta_{ГВ}} \right) \Leftrightarrow \left(\frac{P_{ГВе}(v_c n_{ГВ})v_c}{\eta_{np}} = \frac{R_g(v_c)v_c}{z\eta_{np}} \right), \end{array} \right. \quad (1)$$

где $N_{ГД}$, $n_{ГД}$ – мощность и частота вращения главного двигателя (ГД); η_n – коэффициент полезного действия (КПД) передачи; η_{en} – КПД валопровода; $N_{ГВ}$, $n_{ГВ}$ – мощность на валу гребного винта (ГВ) и частота его вращения; $P_{ГВ}$ – упор ГВ; v_p – скорость воды в диске ГВ; $\eta_{ГВ}$ – КПД ГВ; $P_{ГВе}$ – полезная тяга ГВ; v_c – скорость

судна; $\eta_{пр}$ – пропульсивный коэффициент, учитывающий влияние корпуса судна на КПД ГВ); R_e – сопротивление воды движению судна; z – число ГВ.

В главе выявлены особенности судов с ГЭУ, к которым относятся более высокие маневренные качества, обусловленные меньшим временем перехода с одного режима на другой в сочетании с дистанционным управлением работой всей ПУ. Использование ГЭУ с нетрадиционными источниками электроэнергии (ЭЭ) (аккумуляторами различного типа, электрохимическими генераторами, солнечными элементами и т. п.) позволяет расширить область применения судов-электроходов и улучшить экологическую обстановку.

К одному из вариантов увеличения автономности малотоннажных судов с аккумуляторными энергоустановками относится возможность использования КЭУ, включающих аккумуляторные батареи (АБ) и дизель-генераторные агрегаты, позволяющая улучшить энергетические и экологические показатели.

В первой главе сделан вывод о том, что в пределах решения поставленных задач, направленных на повышение энергетической и экологической эффективности ГЭУ малотоннажных судов прибрежного плавания необходимо выполнить обзор и анализ научно-технических решений основных ГЭУ эксплуатируемых судов-электроходов.

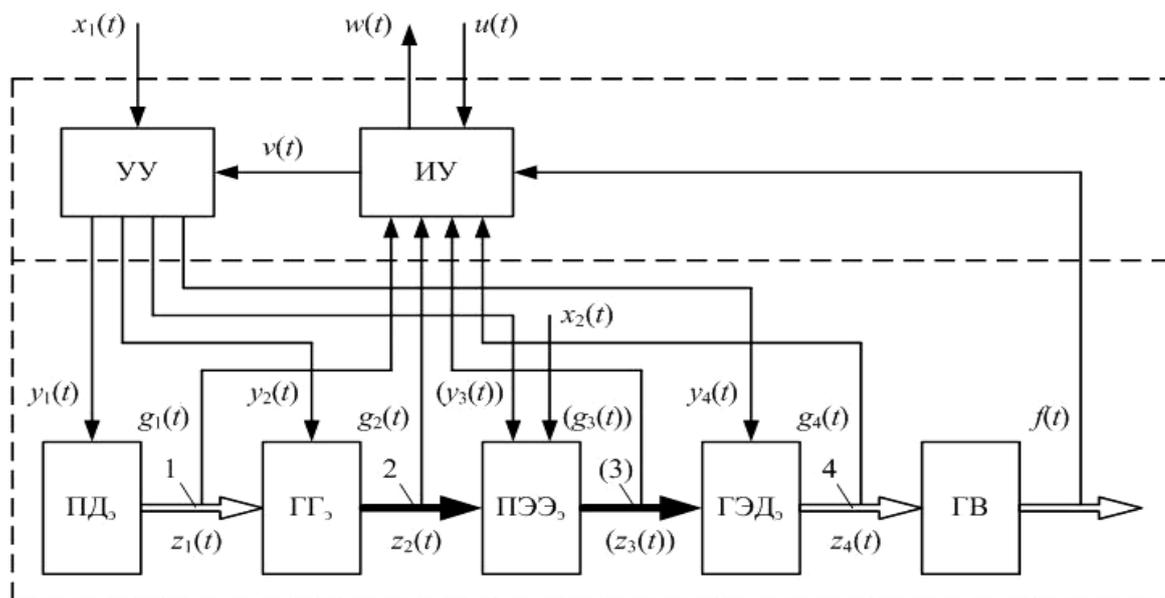
Во **второй главе** выполнен обзор и анализ основных вариантов научно-технических решений основных ГЭУ эксплуатируемых электроходов на основе данных по судам Дальневосточного бассейна.

На основании анализа научно-технических решений схем главного тока ГЭУ, впервые выполненного с использованием ФАЛ, определено, что функционирование в различных режимах движения судов минимального необходимого и достаточного количества главных генераторов (ГГ) обеспечивает более эффективное использование их первичных двигателей.

В главе по результатам исследований сделан вывод о том, что при решении задач, направленных на повышение энергетических и экологических характеристик судов прибрежного плавания, дальнейшего исследования требуют судовые ПК, включающие основные реализованные варианты ГЭУ.

Третья глава посвящена развитию ГЭУ. В главе представлен разработанный вариант эквивалентной функциональной схемы электротехнических комплексов ГЭУ (рисунок 1), где: выходные координаты ПД, $z_1(t)$ – механический момент $M_{ПД}$, угловая скорость $\omega_{ПД}$ и др.; ГГ, $z_2(t)$ – напряжение U , ток I , (частота f при переменном токе) и др.; ПЭЭ, $z_3(t)$ – преобразованные напряжение U_n , ток I_n , частота f_n (при переменном токе) и др.; ГЭД, $z_4(t)$ – механический момент M , угловая скорость ω и др.). ГВ является исполнительным органом ГЭУ с входными координатами $z_4(t)$. УУ выполняет функции управления воздействиями (координатами) $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$ и $y_4(t)$, соответственно. К входным координатам УУ относятся задающие воздействия $x_1(t)$, создаваемые оператором, и/или $v(t)$, формируемые ИУ. Кроме того, функции управления ПЭЭ, осуществляются задающими воздействиями $x_2(t)$, создаваемыми оператором (обслуживающим персоналом). ИУ предназначено для получения, преобразования, хранения, распределения и выдачи информации о переменных ГЭУ и сопредельных систем для использования в СУ Г и внешних информационных системах. К входным координатам ИУ относятся сигналы обратных связей $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ и $g_4(t)$, формируемые по выходным ко-

ординатам $z_1(t)$ ПД_э, $z_2(t)$ ГГ_э, $z_3(t)$ ПЭЭ_э, $z_4(t)$ ГЭД_э и $f(t)$ (скорость судна v_c и др.) и внешних воздействий $u(t)$, формируемые СУ или сопредельными системами.



Силовой канал (ПД_э – эквивалентный первичный двигатель; 1 – жесткая механическая связь; ГГ_э – эквивалентный ГГ; 2 – схема канализации главного тока (силовые кабели); ПЭЭ_э – эквивалентный преобразователь ЭЭ; 3 – схема канализации главного тока от ПЭЭ_э до эквивалентного гребного электродвигателя ГЭД_э; 4 – валопровод; ГВ – гребной винт (движитель)); СУ – система управления (УУ – управляющее устройство; ИУ – информационное устройство)

Рисунок 1 – Разработанная эквивалентная функциональная схема электротехнических комплексов ГЭУ при работе ГЭД в двигательных режимах

К выходным координатам ИУ наряду с $v(t)$ относятся координаты $w(t)$, формируемые для внешних информационных систем.

Многообразие ГЭУ подразумевает возможность отсутствия одного или нескольких каналов воздействий $x_1(t)$, $x_2(t)$, $v(t)$, управляющих воздействий (координат) $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$, и/или сигналов обратных связей $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$, $g_4(t)$.

В состав ГЭУ входят также устройства сопряжения – совокупность электрических и механических элементов и связей, обеспечивающих взаимодействие установки с сопредельными системами и ее отдельных частей (жесткая механическая связь 1, схемы канализации главного тока 2 и 3, валопровод 4 – рисунок 1, и др.).

К достоинствам разработанной функциональной схемы электротехнических комплексов ГЭУ относится наглядность и универсальность, обусловленная возможностью ее применения для электроходов различного назначения.

Известно, что развитие науки и техники находится в непосредственной связи с результатами выполненных исследований на основе сбора, обработки и анализа фактов, которые упорядочиваются и систематизируются (классифицируются).

На рисунке 2 приведена разработанная классификация, учитывающая большое функциональное разнообразие ГЭУ, конструктивные и эксплуатационные особенности отдельных компонентов, их связи и схемные решения, согласно которой все судовые ГЭУ, с учетом функциональной схемы (рисунок 1), можно разделить по функциональному назначению (ячейка 1), по степени использования (ячейка 2), по реализации силового канала (ячейка 3) и по каналу управления (ячейка 4).

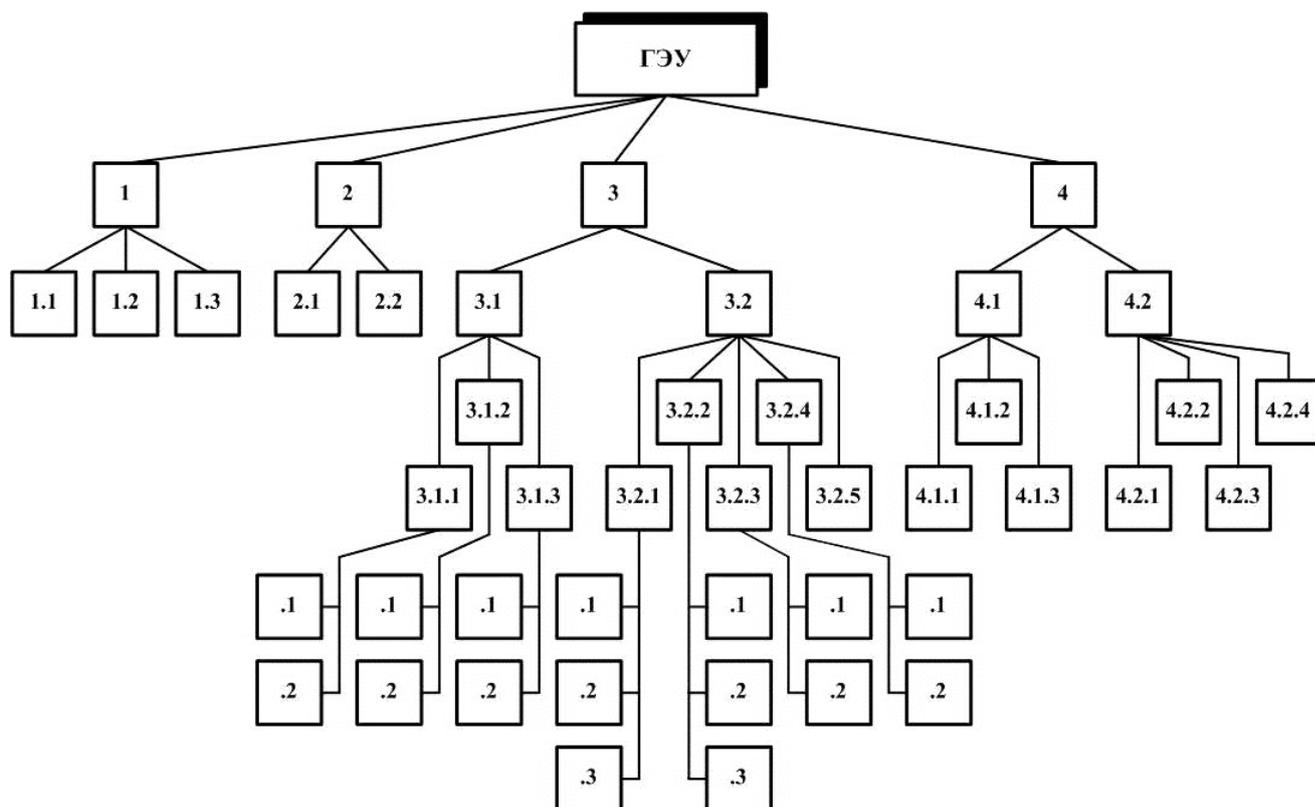


Рисунок 2 – Предложенная классификация ГЭУ судовых ПК

ГЭУ классифицируются: по функциональному назначению (ячейка 1) на 1.1 – вспомогательные; 1.2 – комбинированные; 1.3 – основные. По степени использования (ячейка 2): 2.1 – автономные; 2.2 – в составе единых ЭЭС. По силовому каналу (ячейка 3): 3.1 – по конструктивному исполнению (3.1.1 – по расположению и числу двигателей (ГВ) (.1 – кормовые, n ; .2 – кормовые, n и носовые, m (n, m – число двигателей)); 3.1.2 – по механической связи ГЭД с ГВ (.1 – непосредственные; .2 – посредством передаточных механизмов (муфт)); 3.1.3 – по расположению ГЭД (.1 – внутри корпусов судов; .2 – вне корпусов судов); 3.2 – по схеме главного тока (3.2.1 – по роду тока (.1 – постоянного тока; .2 – переменного тока; .3 – двойного рода тока); 3.2.2 – по типу источников энергии (.1 – электромеханические; .2 – электрохимические; 3 – прочие); 3.2.3 – по типу преобразователей ЭЭ (.1 – аналоговые; .2 – дискретные); 3.2.4 – по числу контуров схем главного тока (.1 – одноконтурные; .2 – многоконтурные); 3.2.5 – по количеству рабочих режимов). По каналу управления (ячейка 4): 4.1 – по технической реализации систем возбуждения (4.1.1 – индивидуальные; 4.1.2 – централизованные; 4.1.3 – смешанные); 4.2 – по типу источников питания схем каналов (4.2.1 – непосредственные; 4.2.2 – электромеханические; 4.2.3 – статические; 4.2.4 – прочие).

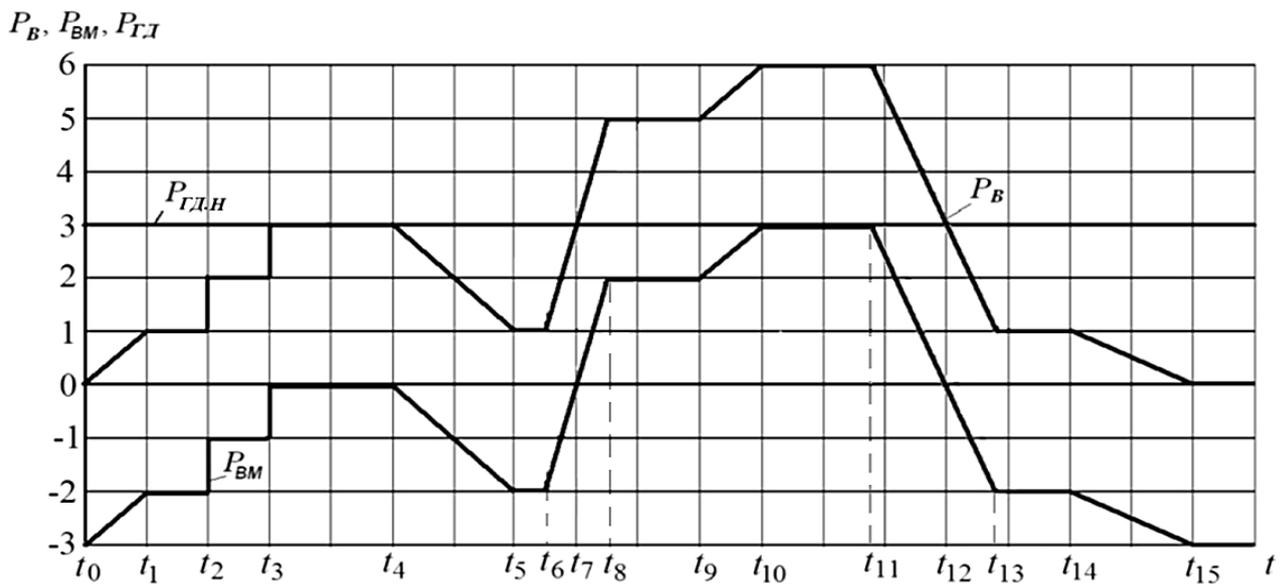
Предложенная классификация отражает в развернутом виде картину современного состояния судовых ГЭУ, стимулирует развитие теоретических аспектов их исследований, позволяет делать обоснованные прогнозы относительно неизвестных еще фактов или закономерностей, является качественным скачком в их развитии.

На основании выполненных исследований, основные результаты которых представлены в гл. 1 и гл. 2 диссертации, с учетом разработанной функциональной схемы (рисунок 1) и предложенной классификации (рисунок 2), при решении

вопросов повышения энергетической и экологической эффективности малотоннажных судов-электроходов к наиболее приемлемым научно-техническим решениям следует отнести комбинированные варианты ГЭУ. В главе представлен вариант силового канала предложенной функциональной схемы КЭУ с обратимой валомашинной (ВМ), где в качестве движителя ПУ используется винт регулируемого шага (ВРШ), частота вращения которого обеспечивается через суммирующий редуктор рабочим ГД посредством муфты или функционирующей системой, включающей АБ, полупроводниковый преобразователь (ПП) и ВМ.

При технической реализации предложенного варианта наряду с подзарядкой АБ целесообразно подключение ВМ к сети общесудовых потребителей.

Для решения задачи повышения энергетических и экологических показателей КЭУ разработан способ управления судовой КЭУ, согласно которому мощность на ГВ изменяется в зависимости от условий эксплуатации – рисунок 3.



P_B – мощность на ГВ (ВРШ); P_{BM} – мощность ВМ

Рисунок 3 – Графики зависимостей $P_B = f(t)$ и $P_{BM} = f(t)$ при $P_{ГД}(t) = P_{ГД.Н}(t) = \text{const}$ согласно разработанному способу

Для момента времени t_0 (стоянки судна) $P_B(t_0) = 0$. При этом мощность $P_{ГД.Н}$ посредством ВМ и ПП, расходуется за вычетом потерь только на зарядку АБ или в комбинации с питанием общесудовых приемников ЭЭ. В этом случае мощность $P_{BM}(t_0)$ обусловлено отрицательна.

В общем случае мощность на ГВ (ВРШ) ($P_B(t)$) определяется как

$$P_B(t) = P_{ГД.Н}(t) \pm P_{BM}(t); \quad P_{ГД.Н} = \text{const}. \quad (2)$$

При линейном законе изменения мощности $P_B(t)$ на один условный уровень на временном отрезке $t_0 \dots t_1$ по аналогичной линейной зависимости на такую же величину изменяется мощность $P_{BM}(t)$, вырабатываемая ВМ.

На интервале $t_1 \dots t_2$ мощность $P_B(t)$ соответствует условному единичному уровню мощности, а $P_{BM}(t)$ – двум уровням. Таким образом, на интервале $t_1 \dots t_2$ 1/3 мощности $P_{ГД.Н}$ передается на ГВ, а 2/3 преобразуется посредством ВМ и ПП в электрическую для подзарядки АБ и/или питание общесудовых приемников ЭЭ. В промежутке $t_2 \dots t_3$ 2/3 мощности $P_{ГД.Н}$ передается на ГВ, а 1/3 расходуется на под-

зарядку АБ и/или питание общесудовых приемников ЭЭ. На интервале $t_3...t_4$ вся мощность $P_{ГД,Н}$ расходуется ГВ. При этом муфта М2 разобщена, а ВМ находится в отключенном состоянии. Аналогичным образом производится распределение мощности $P_{ГД,Н}$ и на последующих временных интервалах функционирования.

Представленный разработанный способ управления судовой КЭУ защищен патентом на изобретение.

В четвертой главе рассмотрены вопросы математического моделирования компонентов электротехнического комплекса судовых КЭУ и их взаимодействия. Определена целесообразность представлять КЭУ, как системы, включающие совокупности компонентов (ГД, ВМ, АБ, ПП и ГЭД), которые организованы для решения определенных функциональных задач так, что отдельные части взаимосвязаны некоторым системообразующим отношением.

Математическая модель первичного двигателя (ПД) для отдельной работы в КЭУ или в составе ДГ агрегата может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{dn_{ПД}}{dt_p} &= f_5(n_{ПД}, x_{рн}, \theta_m, Q_в, M_{сПД}) = \\ &= a_1 + a_2 x_{рн} + a_3 Q_в + a_4 x_{рн} Q_в + a_5 x_{рн}^2 + a_6 Q_в x_{рн}^2 + \\ &+ b_1 \theta_m + b_2 x_{рн} \theta_m + b_3 Q_в \theta_m + b_4 \theta_m^2 + b_5 Q_в \theta_m^2 + b_6 x_{рн} \theta_m^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где $a_i = f_i(n_{ПД}, x_{рн}, \theta_m, Q_в, M_{сПД})$; $i = 1...6$;

$$b_j = f_j(n_{ПД}, x_{рн}, \theta_m, Q_в, M_{сПД})$$
; $j = 1...6$.

В (3) t_p – время динамических режимов; $x_{рн}$ – положение рейки топливного насоса; θ_m – фаза подачи топлива; $Q_в$ – расход дополнительного воздуха; $M_{сПД}$ – момент сопротивления ПД; a_i, b_j – коэффициенты пропорциональности.

Математическая модель ПД (3), в которой кроме трех управляющих воздействий учитывается девиация частоты вращения вала и коэффициенты технического состояния, позволяет корректно решать задачи управления ПД в составе КЭУ.

При моделировании синхронных генераторов (СГ) целесообразно использование системы дифференциальных уравнений Парка-Горева, которая описывает протекание электромагнитных процессов в $d, q, 0$ осях, связанных с ротором.

$$\begin{cases} u_d = -\frac{1}{\omega_o} p\Psi_d - \Psi_q(1+s) - R_{sd}i_d; & u_{ddi} = \frac{1}{\omega_o} p\Psi_{ddi} + R_{ddi}i_{ddi}; \\ u_q = -\frac{1}{\omega_o} p\Psi_q + \Psi_d(1+s) - R_{sq}i_q; & u_{dqi} = \frac{1}{\omega_o} p\Psi_{dqi} + R_{dqi}i_{dqi}; \\ u_f = \frac{1}{\omega_o} p\Psi_f + R_f i_f. \end{cases} \quad (4)$$

В системе уравнений (4): $u_d, u_q, u_f, u_{ddi}, u_{dqi}$ – напряжения по d, q осям, в обмотке возбуждения (ОВ), и в демпферных контурах по осям ($i = 1...n$ – порядковые номера и количество контуров); ω_o – синхронная угловая скорость; p – оператор дифференцирования ($p = d/dt$); $\Psi_d, \Psi_q, \Psi_f, \Psi_{ddi}, \Psi_{dqi}$ – потокосцепления по осям, в ОВ и в демпферных контурах по осям; s – условное скольжение ГГ относительно вращающихся осей; $R_{sd}, R_{sq}, R_f, R_{ddi}, R_{dqi}$ – активные сопротивления фазных обмо-

ток статора ГГ по осям, ОВ и демпферных контуров по осям; $i_d, i_q, i_f, i_{ddi}, i_{dqi}$ – значения токов по осям, в ОВ и в демпферных контурах по осям, соответственно.

Приведенная математическая модель с учетом насыщения магнитных систем позволяет повысить точность аналитических исследований переходных и установившихся режимов функционирования ГГ в составе ДГ судовых КЭУ за счет учета изменения потока рассеяния обмотки возбуждения ГГ.

При моделировании АБ использована модель Тевенина. Система уравнений, описывающая состояние одного аккумулятора представляется как:

$$\left. \begin{aligned} \text{SOC} &= \frac{Q_a - \int_{t_0}^t I_a(t) dt}{Q_a}; \\ \dot{U}_a(t) &= (E_a(\text{SOC}) - I_a(t)R_\Sigma(\text{SOC}) - U_a(t)) \frac{1}{\tau(\text{SOC})}; \\ E_a(\text{SOC}) &= a_E + b_E \text{SOC} + c_E \text{SOC}^2 + d_E \text{SOC}^3; \\ R_\Sigma(\text{SOC}) &= a_R + b_R \text{SOC}; \quad \tau(\text{SOC}) = a_\tau + b_\tau \text{SOC}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В системе (7) SOC, Q_a – состояние заряженности (State of Charge) и емкость заряженного аккумулятора; I_a, U_a, E_a – ток, напряжение на клеммах и ЭДС аккумулятора; R_Σ – эквивалент внутреннего сопротивления аккумулятора; τ – постоянная времени цепи; $a_E, b_E, c_E, d_E, a_R, b_R, a_\tau, b_\tau$ – коэффициенты сплайна.

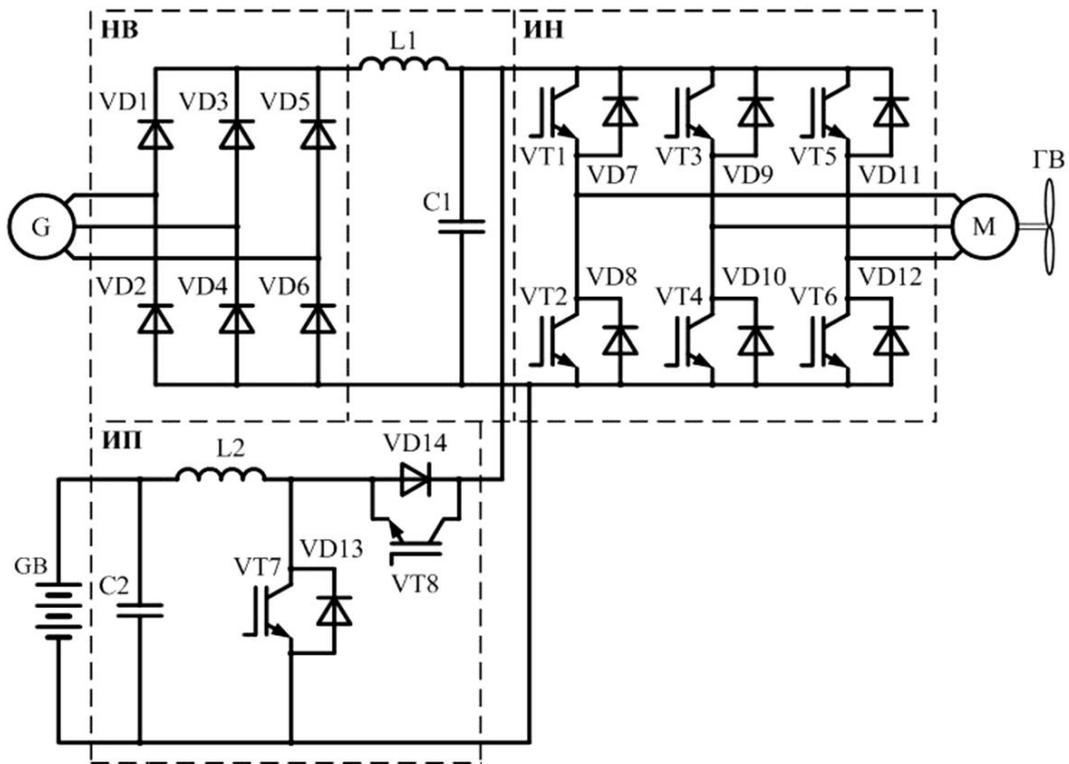
Поскольку параметры модели аккумуляторов батареи при разрядке, зарядке и переходе с одного режима на другой имеют отличительные особенности, обусловленные в первую очередь гистерезисными характеристиками, модели формируются отдельно для каждого из исследуемых режимов.

Предложенная модель, универсальность которой заключается в возможности ее использования для различных типов АБ, позволяет определять текущие значения токов в процессах разрядок и зарядок АБ с учетом изменения их температуры.

ПП судовых КЭУ в соответствии с разработанным в гл. 3 способом должны обеспечивать регулируемое по определенным закономерностям двунаправленное протекание потоков ЭЭ, необходимых для своевременного и качественного обеспечения необходимой энергией ГЭД и АБ.

На рисунке 4 приведена схема разработанного на основании выполненного анализа научно-технических решений приемлемого варианта силовых каналов электротехнического комплекса КЭУ с асинхронным двигателем (АД), отличающаяся от известных перечнем взаимодействующих компонентов, общей схемой электрических соединений этих компонентов и особенностями выполняемых ими функций в составе электротехнических комплексов судовых КЭУ. Функционирование НВ (рисунок 4) является частным случаем работы управляемых выпрямителей при угле управления полупроводниковых приборов (ППр) α , равном нулю.

Среднее значение выпрямленного (выходного) напряжения U_{a0} , зависящее от напряжения питающей сети ($U_{ГГ}$), определяется из уравнения (6).



G – СГ; GB – АБ; НВ – силовой модуль (СМ) неуправляемого выпрямителя; L1, C1 – фильтр; ИН – СМ инвертора; М – трехфазный АД; ИП – СМ импульсного преобразователя
Рисунок 4 – Предлагаемый вариант с хемы силовых каналов КЭУ

$$U_{d0} = \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{+\frac{\pi}{6}} U_{ГГл\max} \cos(2\pi f_{ГГ} t) d(2\pi f_{ГГ} t) = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{ГГ}, \quad (6)$$

где $U_{ГГл\max}$, $f_{ГГ}$ – амплитудное линейное напряжение и частота трехфазного ГГ.

Выражение внешней характеристики преобразователя может быть представлено в следующем виде:

$$U_d \approx U_{d0} \cos \alpha - (\Delta U_{ИП} + (m_{ГГ} f_{ГГ} L_{ГГ} + R_{ГГ}) I_d); \quad \alpha = 0. \quad (7)$$

В (7) $\Delta U_{ИП}$ – падение напряжения на силовых ПП; $L_{ГГ}$, $R_{ГГ}$ – эквивалентная индуктивность и активное сопротивление обмоток статора ГГ; $I_d = I_{ГЭД}$.

Исходя из принципа действия ИН оригиналы фазных токов i_ϕ нагрузки ИН определяются на трех интервалах полупериода. В частности, для фазы А:

$$\begin{cases} i_\phi(\omega_{\text{ввх}} t) = \frac{U_d}{3r_n} \left(1 - \frac{(1+a)(2-a)}{1+a^3} e^{-k\omega_{\text{ввх}} t} \right), & \text{при } 0 < \omega_{\text{ввх}} t < \frac{\pi}{3}; \\ i_\phi(\omega_{\text{ввх}} t) = \frac{U_d}{3r_n} \left(2 - \frac{(1+a)^2}{1+a^3} e^{-k\omega_{\text{ввх}} t} \right), & \text{при } \frac{\pi}{3} < \omega_{\text{ввх}} t < \frac{2\pi}{3}; \\ i_\phi(\omega_{\text{ввх}} t) = \frac{U_d}{3r_n} \left(1 + \frac{(1+a)(1-2a)}{1+a^3} e^{-k\omega_{\text{ввх}} t} \right), & \text{при } \frac{2\pi}{3} < \omega_{\text{ввх}} t < \pi. \end{cases} \quad (8)$$

В (8) r_n – сопротивление нагрузки (фазы асинхронного двигателя (АД)); $a = \exp(-k\pi/3)$; k – параметр нагрузки ($k = r_n / \omega_{\text{ввх}} L_n$ (L_n – индуктивность нагрузки)).

ИП (рисунок 4) обеспечивают управляемую передачу преобразованной мощности ДГ для подзарядки АБ и передачу мощности АБ для вращения ГЭД.

При подзарядке АБ через ИП в основных режимах (непрерывных токов) изображения напряжения U_a на основании преобразования Лапласа–Карсона имеют вид:

$$\begin{cases} U_a(p) = \frac{(U_d - E_a) - U_d e^{-pt_0} + E_a e^{-pt_u}}{p(1 - e^{-pt_u})}, & \text{при } 0 < t < t_0; \\ U_a(p) = \frac{-E_a + U_d e^{-p(t_u - t_0)} - (U_d - E_a) e^{-pt_u}}{p(1 - e^{-pt_u})}, & \text{при } t_0 < t < t_u. \end{cases} \quad (9)$$

Значения токов АБ i_a при зарядке определяются по следующим зависимостям:

$$\begin{cases} i_a(t) = \frac{U_d - E_a}{R_\Sigma} - \frac{U_d}{R_\Sigma} \left(\frac{1 - a_1 b_1}{1 - a_1} \right) e^{-\frac{t}{T_a}}, & \text{при } 0 < t < t_0; \\ i_a(t) = \frac{-E_a}{R_\Sigma} + \frac{U_d}{R_\Sigma} \left(\frac{1 - b_1^{-1}}{1 - a_1} \right) e^{-\frac{t}{T_a}}, & \text{при } t_0 < t < t_u. \end{cases} \quad (10)$$

В (9) и (10) p – комплексный параметр; U_d – выходное напряжение ИП в режиме зарядки АБ; $0 \dots t_0$, $t_0 \dots t_u$ – временные интервалы изменения тока i_a .

Система уравнений АД М (рисунок 4) в трехфазной системе координат, после приведения к уравнениям статорной цепи, имеет следующий вид:

$$u_{sn} = i_{sn} R_{sn} + \left(L_{s\sigma n} - \frac{L_{mn}^2}{L_{r\sigma n}} \right) \frac{di_{sn}}{dt} - \frac{L_{mn}}{L_{r\sigma n}} (i_{rn} R_{rn} - e_{sprn}). \quad (11)$$

В (10) и (11) u_s , e_{spr} , i_s , i_r , R_s , R_r – фазные напряжения, ЭДС, токи и активные сопротивления статора и ротора; $L_{s\sigma}$, $L_{r\sigma}$ – индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора; L_m – взаимная индуктивность (n – индекс фаз A , B или C).

Решение уравнения (11) позволяет определять переменные основных количественных характеристик АД, необходимые для анализа режимов работы КЭУ.

Уравнение связи момента $M_{эм}$ АД с токами статора имеет вид

$$M_{эм} = \sqrt{3} L_{mn} (i_{s(n-1)} i_{rn} - i_{sn} i_{r(n-1)}). \quad (12)$$

Пятая глава посвящена аналитическим и экспериментальным исследованиям КЭУ, расчетам энергетической и экологической эффективности.

Математические описания (гл. 4) формируют законы изменения состояний отдельных компонентов системы в течение времени функционирования.

К основным исходным константам при математическом моделировании судовых КЭУ относятся параметры и состояния ГГ, НВ, ИН, ГЭД, АБ и ИП.

На основании известных и полученных аналитических выражений разработана имитационная модель основного силового канала КЭУ – рисунок 5.

СГ моделируется блоком «Three-phase voltage source in series with RL branch». Двухзвенный ПП частоты представлен блоком «AC–DC–AC Converter», к выходу которого подключен L–C фильтр, реализованный блоком «Filter». В качестве нагрузки используются модель АД с вентиляторным моментом сопротивления, представленным блоком «Fan».

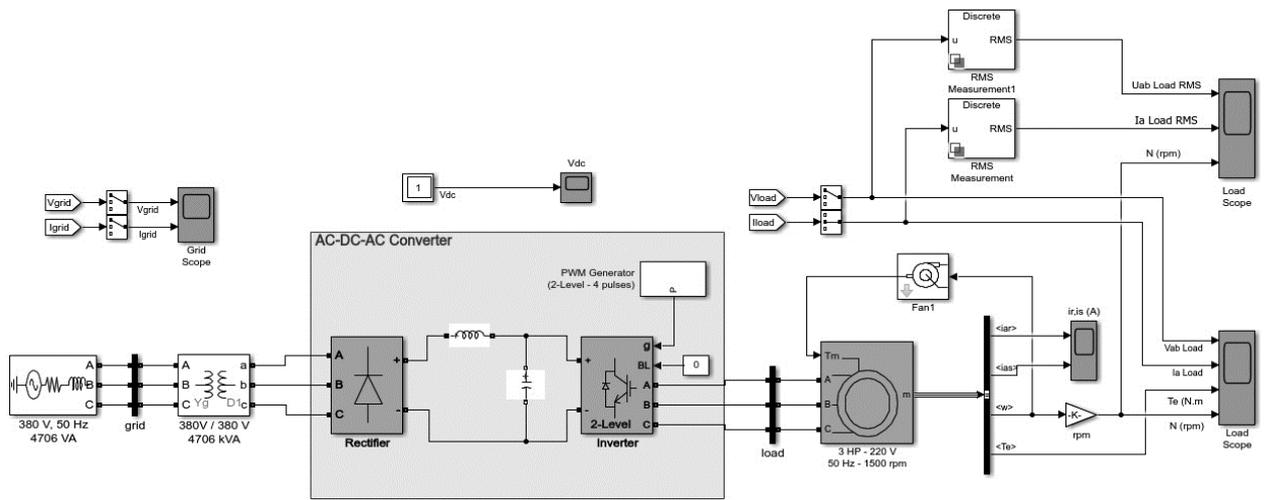


Рисунок 5 – Имитационная модель основного силового канала судовых КЭУ

С целью проверки адекватности модели реальному объекту разработана и создана физическая модель основного силового канала КЭУ, на которой экспериментально исследованы режимы, аналогичные режимам, исследованным аналитически.

Пример результатов аналитических и экспериментальных исследований представлен на рисунке 6.

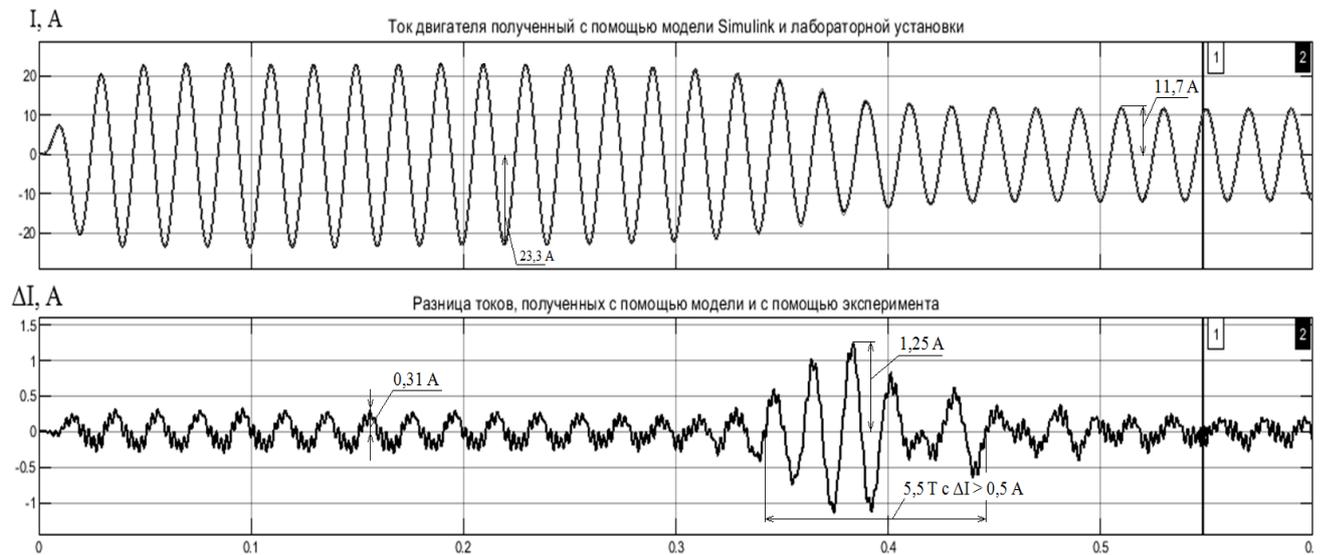


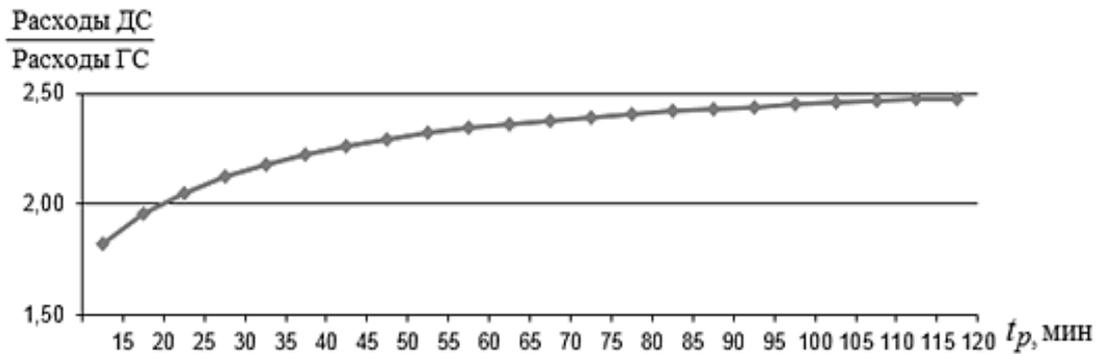
Рисунок 6 –Выборочные результаты сравнительного анализа аналитических исследований и физического моделирования КЭУ при ИМ, равном 0,99 и выходной частоте инвертора 50 Гц

Для рисунка 6 наибольшее расхождение между аналитическими и экспериментальными зависимостями токов ГЭД составляет около 15 % при частоте 50 Гц.

По результатам выполненных аналитических и экспериментальных исследований рассчитаны и построены механические характеристики АД типа АО2-41-4 в диапазоне частот f_s 20...50 Гц при его работе на вентиляторную характеристику. Наибольшее расхождение результатов составило 11,7 % для $f_s = 50$ Гц.

В главе выполнен расчет энергетической эффективности от внедрения предложенных научно-технических решений КЭУ на основе сравнительного анализа с традиционной дизельной ПУ эксплуатируемого в Дальневосточном бассейне малотоннажного пассажирского теплохода «Пассат» проекта 1438.

На рисунке 7 приведена графическая зависимость экономии горюче-смазочных материалов (ГСМ) в зависимости от времени рейса t_p .



ДС – дизельное судно; ГС – гибридное судно

Рисунок 7 – График сравнительной зависимости экономии ГСМ в функции t_p при замене традиционной главной дизельной установки на КЭУ на пассажирском теплоходе «Пассат»

Таким образом, при времени рейса t_p на мыс Чуркин, составляющего 15 мин, расходы на ГСМ уменьшаются в 1,8 раза, а при времени рейса на остров Попова, равного 120 мин, расходы снизятся до 2,5 раз. Для наиболее коротких рейсов, составляющих в частности $t_p = 15$ мин, годовая ЭЭ составляет около 600 000 рублей в год, а при $t_p = 120$ мин – 1,26 млн. рублей.

Экологическая эффективность обусловлена снижением вредных выбросов за счет использования в составе КЭУ ГД меньшей мощности и обеспечения квазистационарных режимов работы ГД, близких к номинальным, характерных минимальным удельным расходом топлива и наименьшими вредными выбросами.

Выхлоп по каждому i -му вредному веществу m_{ei} , выбрасываемому в атмосферу дизельным двигателем, может быть определен по формуле

$$m_{ei} = \frac{q_{ei} N_{ГД} \cdot n_p}{1000} (t_c N_c^* + t_m N_m^* + t_p N_{ГД}^*), \quad (13)$$

где q_{ei} – удельный выхлоп по i -му вредному веществу, г/кВт·ч; t_m – время торможений судна в маневренных режимах; N_c^* , N_m^* , $N_{ГД}^*$ – относительные мощности ГД время стоянок, торможений и в установившихся ходовых режимах судна, кВт.

На рисунке 8 приведен график зависимости наиболее массовых выбросов в атмосферу веществ (СО и NOx) в функции времени работы ГД t_p в составе КЭУ.

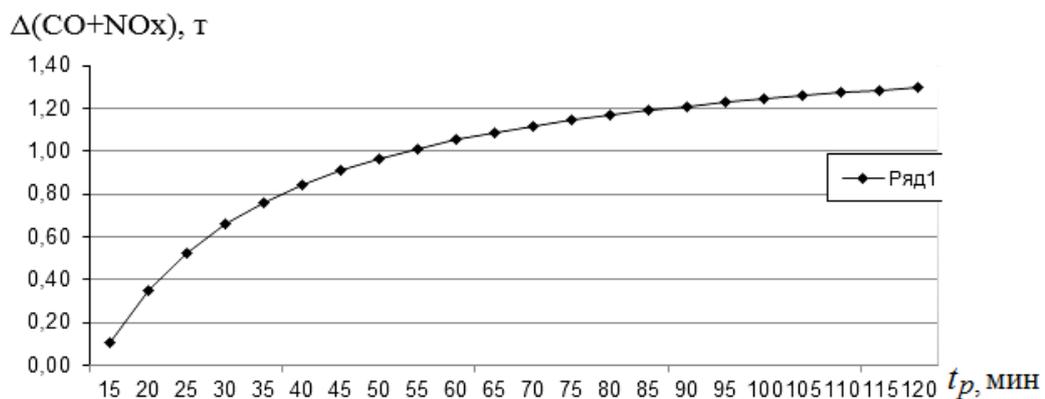


Рисунок 8 – График сравнительной зависимости выбросов в атмосферу СО и NOx в функции времени работы ГД t_p

Таким образом, с увеличением времени работы ГД в составе КЭУ наблюдается уменьшение выбросов в атмосферу CO и NOx от 0,10 т при времени $t_p = 15$ мин до 1,30 т при $t_p = 120$ мин за один навигационный период.

Заключение содержит основные результаты исследований, включающие решения актуальных задач, направленных на совершенствование электротехнических комплексов пропульсивных установок (ГЭУ) малотоннажных судов с целью повышения их энергетической и экологической эффективности.

В соответствии с поставленными задачами получены следующие основные научные результаты.

1. Разработана функциональная схема электротехнических комплексов ГЭУ, обладающая наглядностью универсальностью, обусловленной возможностью ее применения для судов-электроходов любого функционального назначения.

2. Предложена классификация судовых ГЭУ, отличающаяся от известных приемлемым для исследований диапазоном классификационных признаков, наиболее полно характеризующих особенности отдельных вариантов ГЭУ, предназначенная для использования как средство установления связей между ГЭУ и уточненной ориентировки в их количественном и функциональном многообразии.

3. Разработан способ управления судовой КЭУ, направленный на решение задачи повышения энергетических и экологических показателей КЭУ, защищенный патентом на изобретение.

4. Развита на основании выполненных исследований и полученных данных научно-технические схемные решения силовых каналов судовых КЭУ. Предлагаемый вариант отличается от известных перечнем взаимодействующих компонентов, общей схемой электрических соединений этих компонентов и особенностями выполняемых ими функций в составе и соответствует необходимым предъявляемым требованиям.

5. Разработана оригинальная имитационная модель, обеспечивающая достаточную универсальность. Выполнены аналитические исследования режимов, обусловленных технической реализацией предложенных мероприятий, направленных на повышение энергетических и экологических показателей КЭУ.

6. Предложена с целью проверки адекватности созданной имитационной модели реальному объекту экспериментальная установка и проведено физическое моделирование. Наибольшие расхождения при сравнительном анализе имеют зависимости фазных напряжений $u_\phi = f(t)$ в начальный период, составляющий около 0,07 с.

Рассчитаны и построены по данным аналитических и экспериментальных исследований механические характеристики АД типа АО2-41-4 в диапазоне частот f_s 20...50 Гц при его работе на вентиляторную характеристику. Наибольшее расхождение результатов составило 11,7 % для $f_s = 50$ Гц.

7. Выполнены расчеты энергетической и экологической эффективности от внедрения предлагаемых научно-технических решений.

Уменьшение расходов на ГСМ изменяется от 1,69 раза при продолжительности рейсов $t_p = 15$ мин до 2,5 раз при $t_p = 120$ мин за один навигационный период. Экономическая эффективность при $t_p = 15$ мин составляет около 0,6 млн. рублей в год, а при продолжительности рейсов $t_p = 120$ мин – 1,26 млн. рублей.

Выбросы выхлопных газов ГД КЭУ по сравнению с дизельной ПУ уменьшаются от 1,1 раза при $t_p = 15$ мин до более чем в 1,8 раза при $t_p = 120$ мин.

Таким образом, внедрение разработанных и технически реализованных мероприятий на основе выполненных исследований способствует совершенствованию электротехнических комплексов ПУ (ГЭУ) малотоннажных судов с целью повышения их энергетической и экологической эффективности.

Список публикаций по теме диссертации, содержит 22 работы.

Перечень трудов в изданиях, рекомендованных для публикаций ВАК

1. Миханошин, В. В. Возможности использования комбинированных энергоустановок на малотоннажных судах / В. В. Миханошин, В. Ф. Веревкин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск : Новосиб. гос. акад. водн. тр-та. – 2009. – № 1. – С. 259-262.

2. Миханошин, В. В. Определение автономности плавания дизель-аккумуляторного судна / В. В. Миханошин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск : Новосиб. гос. акад. водн. тр-та. – 2011. – № 1. – С. 360-363.

3. Бурков, А. Ф. Повышение эффективности управления комбинированными энергетическими установками судов / А. Ф. Бурков, В. В. Миханошин, Нгуен Ван Ха // Вестник Гос. ун-та мор. и речн. флота им. адм. С. О. Макарова. – СПб. : Гос. ун-т мор. и речн. флота им. адм. С. О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 2. – С. 381-389.

4. Бурков, А. Ф. Повышение энергоэффективности силовых электроэнергетических установок малотоннажных пассажирских судов / А. Ф. Бурков, В. В. Миханошин, Нгуен Ван Ха // Омск : Омский научный вестник. – 2021. – № 4 (178). – С. 46-51.

Работы в изданиях базы данных Scopus

5. Burkov, A. F., Mikhanoshin V. V., Avetisyan W. R. Improving the Energy Efficiency of Propulsion Systems of the Sea and River Fleets. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Vol. 8. No. 4, April, 2020. Available Online at <http://www.warse.org/IJETER/static/pdf/file/ijeter35842020.pdf>. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/3584202>.

6. Burkov A.F., Mikhanoshin V.V., Avetisyan V.R., Nguen V.K. Classification of Electric Propulsion Installations of the Ship Propulsion Systems. International Journal of Engineering Research and Technology. ISSN 0974-3154. Vol. 13. No. 12, 2020. – P. 4794-4798/ International Research Publication House. <http://www.irphouse.com>.

Патенты и свидетельства

7. Патент на изобретение RU 2483972. Способ управления судовой комбинированной энергетической установкой / Миханошин, В. В. – Морск. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского ; приоритет 06.10.2011 ; зарег. 10.06.2013. Бюл. № 16.

8. Патент на изобретение RU 2716514. Способ разгона глиссирующего судна / Миханошин В. В., Наумов И. М. – Морск. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского ; приоритет 25.04.2018 ; зарег. 12.03.2020. Бюл. № 8.

9. Патент на изобретение RU 2716489. Электромеханический преобразователь / Миханошин В. В. – Морск. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского ; приоритет 14.05.2018 ; зарег. 12.05.2020. Бюл. № 32.

Монографии

10. Бурков, А. Ф. Гребные электрические установки: обзор, анализ, перспективы развития: мон. / А. Ф. Бурков, В. В. Миханошин. – М. : ИНФРА-М, 2022. – 199 с. – (Науч. мысль.). DOI 10.12737 / 1832490.

Другие опубликованные работы

11. Миханошин, В. В. Комбинированная судовая энергетическая установка / В. В. Миханошин // Мат. X междунар. конф. студ., асп. и молодых ученых «Интеллектуальный потенциал ВУЗов – на развитие Дальне-восточного региона России». – Кн. 2. – Владивосток : Изд-во ВГУЭС. – 2008. – С. 51-53.
12. Миханошин, В. В. Методы разделения мощности в судовых гибридных энергоустановках / В. В. Миханошин // Мат. 8-й междунар. науч. практ. конф. «Проблемы транспорта Дальнего Востока». – Владивосток : Дальневост. отд. Рос. акад. тр-та. – 2009. – С. 117-119.
13. Миханошин, В. В. Использование комбинированных энергоустановок на транспорте – залог повышения его экологической и экономической эффективности / В. В. Миханошин, В. Ф. Веревкин // Мат. междунар. науч. чтений «Приморские зори – 2009». – Вып. 2. – Владивосток : Изд-во ТАНЭБ. – С. 204-208.
14. Миханошин, В. В. Расчет величины напряжения и ёмкости аккумуляторной батареи для комбинированной энергоустановки / В. В. Миханошин, В. Ф. Веревкин // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Вып. 21, Ч. 1. – Владивосток : Дальрыбвтуз. – 2009. – С. 195-201.
15. Миханошин, В. В. Комбинированная энергетическая установка для судов прибрежного плавания / В. В. Миханошин // Сб. мат. науч. конф. «Вологдинские чтения». – Владивосток : ДВГТУ. – 2009. – С. 134-137.
16. Миханошин, В. В. Электроходы на Российских водных путях / В. В. Миханошин, В. Ф. Веревкин // Мат. межд. конф., посвящ. 200-летию подготовки кадров для ВТ России «Водные пути России : строительство, эксплуатация, управление». – СПб. : ФГОУ ВПО СПГУВК. – 2009. – С. 241-244.
17. Миханошин, В. В. Комбинированная энергетическая установка судна – электрохода / В. В. Миханошин // Мат. XVI межд. конф. студ., асп. и молодых ученых. – Т. 1. – Томск : ТПУ. – 2010. – С. 83-84.
18. Миханошин, В. В. Математические модели импульсного преобразователя судовой комбинированной энергетической установки / В. В. Миханошин // Сб. науч. ст. «Эксплуатация морского транспорта». – СПб. : ГМА им. адм. С. О. Макарова. – № 3 (65). – 2011. – С. 71-73.
19. Миханошин, В. В. Обеспечение стационарной работы главной дизельной установки в условиях переменной нагрузки / В. В. Миханошин // Сб. докл. 60-й междунар. молодеж. науч.-технич. конф. «Молодежь. Наука. Инновации». – Владивосток : Мор. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского. – 2012. – Т.1. – С. 68-71.
20. Миханошин, В. В. Сравнение структурных схем гибридных судовых энергоустановок / В. В. Миханошин, В. Ф. Веревкин // Peer Reviewed, Open Access, Free Online Journal Published monthly. – Is. 4 (13). – 2014. – Italian Science Review. – P. 592-593.
21. Бурков, А.Ф. Потери в преобразовательных устройствах и их влияние на качество электрической энергии / А. Ф. Бурков, Ван Ха Нгуен, В. В. Миханошин // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона». – Хабаровск : ФГБОУ ВО ДВГУПС. – № 4 (25). – 2020. – С.44-49.
22. Бурков, А. Ф. Электрохимические источники энергии для судовых комбинированных гребных электрических установок / А. Ф. Бурков, В. В. Миханошин, Ван Ха Нгуен // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 70. – Ч. 2. – Самара : НИЦ «Л-Журнал». – 168 с.