

Федеральное агентство по рыболовству
Камчатский государственный технический университет
Донецкий национальный технический университет

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ

*Материалы
Восьмой национальной (всероссийской) научно-технической конференции
(27–28 ноября 2025 г.)*

Электронное издание

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский
2026

УДК 656.6:629.5
ББК 39.42-08

Ответственный за выпуск

С.Н. Царенко,
доктор физико-математических наук

Редакционная коллегия

*С.Ю. Труднев, к.т.н.; А.Н. Рак, к.т.н.; А.А. Марченко, к.т.н.;
Д.П. Ястребов; О.А. Мартынов; И.Н. Байназаров, к.и.н.;
О.В. Ольхина; А.А. Седельникова*

Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : материалы Восьмой национальной (всероссийской) научно-технической конференции (27–28 ноября 2025 г.) [Электронный ресурс] / отв. за вып. С.Н. Царенко. – Электрон. дан. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2026. – 1 электрон. опт. диск. – Загл. с экрана.

В сборник включены материалы Восьмой национальной (всероссийской) научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития», отражающие научные и практические результаты в области технической эксплуатации водного транспорта.

Освещены актуальные проблемы, представлены современные достижения и перспективные направления развития в таких областях, как судовождение, судостроение и судоремонт, электротехнические комплексы и системы, информационные технологии и моделирование, технологические машины и оборудование, наукоемкие технологии изготовления и ремонта деталей судов и судовых агрегатов, подготовка инженерных кадров.

Авторами представленных докладов являются преподаватели, ведущие сотрудники научно-исследовательских институтов, аспиранты и студенты высших учебных заведений, ведущих научную и образовательную деятельность в сфере водного транспорта.

ISBN 978-5-328-00441-1

Текстовое (символьное) электронное издание

Минимальные системные требования:

Тип компьютера, процессор, частота: ПК, двухъядерный Intel Pentium 4 и выше, 1500 MHz

Оперативная память (RAM): 2 Gb и выше

Необходимо на винчестере: от 80 Gb

Операционные системы: Microsoft Windows XP/7/8/10/11 (32 или 64 bit) Linux с GUI

Видеосистема: видеокарта 8 Mb памяти или лучше

Акустическая система: звуковая карта (любая)

Дополнительное оборудование: привод CD-R дисков

Дополнительные программные средства: ПО для просмотра файлов PDF

Количество носителей: 1

© КамчатГТУ, 2026

© Авторы, 2026

Техническая обработка
и подготовка материалов – Е.Е. Бабух

Дата подписания к использованию 14.04.2026 г.
Объем издания – 9,65 Мб
Количество носителей – 1
Тираж – 100 шт.

Записано на материальный носитель:
ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»
Издательство КамчатГТУ
683003, г. Петропавловск-Камчатский,
ул. Ключевская, 35
Тел. (4152)300-953. Факс (4152)42-05-01
E-mail: kamchatgtu@kamchatgtu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ, СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

<u>Анисимов А.Р., Изотченко Р.И.</u>	
Перспективы применения беспилотных технологий для диагностики корпусов судна	8
<u>Бобылев Д.С.</u>	
Разработка основных положений методики обследования и технического облика специализированного ТНПА для задач мониторинга подводной части обшивки корпуса судна.....	12
<u>Борисюк О.С., Бобров М.Ю.</u>	
Влияние спорта на формирование патриотизма у молодежи и подрастающего поколения	16
<u>Власенко А.Д., Изотченко Р.И.</u>	
Перспектива применения новейших спасательных средств на судах рыбопромыслового флота	18
<u>Гараев Р.А.</u>	
К вопросу о методах расчета крутильных колебаний валопровода	21
<u>Гараев Р.А., Царенко С.Н.</u>	
Анализ влияния параметров теоретического цикла работы дизельного двигателя на гармонические составляющие крутящего момента	26
<u>Григорьев И.А., Кашина В.В.</u>	
Особенности ремонта судов на подводных крыльях в современных условиях	32
<u>Гуляева Е.А., Мартынов О.А.</u>	
Проблемы набора обучающихся в группу «Судовождение» ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»	36
<u>Зуева Л.Н.</u>	
Мероприятия по снижению негативного воздействия сточных вод на прибрежные воды Авачинской бухты	40
<u>Зуева Л.Н., Чугункова С.М.</u>	
Классификация сточных вод и оценка их воздействия на экосистему Авачинской бухты.....	44
<u>Кашина В.В.</u>	
Анализ базовых требований, предъявляемых к системам управления жизненным циклом судов.....	48
<u>Кашина В.В.</u>	
Исследование рисков судоходных компаний, связанных с планированием судоремонта	52
<u>Кашина В.В.</u>	
Особенности проведения исследований производственных возможностей отечественных судоремонтных предприятий.....	57
<u>Колипов М.В., Мартынов О.А.</u>	
Оценка эффективности эксплуатации радионавигационной системы РС-10.....	61
<u>Кочнев Ю.А., Кочнева И.Б.</u>	
Регламент утилизации судна	68
<u>Кулько Д.Д.</u>	
Новые методы осмотра и мониторинга технического состояния подводной части корпусов судов.....	72
<u>Любченко Д.И., Панкратов И.А., Стрижаченко А.А.</u>	
Цифровой рубль в обеспечении ремонтного производства ремонтными групповыми комплектами.....	77
<u>Павлов Д.Д., Изотченко Р.И.</u>	
Математические способы нахождения геодезической линии в судовождении	81

<u>Симахина М.А., Чернышев Г.А.</u>	
Применение программного обеспечения Windy для оптимизации перехода морского судна из п/п Петропавловска-Камчатского в п/п Владивосток.....	87
<u>Стрельник Ю.Н., Матвиенко С.А.</u>	
Адаптивный алгоритм принятия решений о техническом обслуживании и ремонте судовых дизелей на основе стохастического моделирования и теории полезности.....	93
<u>Трибунская Р.М., Кулдасов А.К.</u>	
К вопросу о производстве строительной арматурной стали в условиях промышленных предприятий Камчатки.....	97
<u>Тупицына М.Л., Кочнев Ю.А.</u>	
Особенности применения нейронных сетей и искусственного интеллекта для обоснования характеристик спасательного устройства судна.....	101
<u>Фатеева А.С., Гараев Р.А.</u>	
Сравнительный анализ пружинного и силиконового демпфера крутильных колебаний судовых энергетических установок.....	106
<u>Фатьянова Н.В.</u>	
Роль оксида цинка в формировании антикоррозионных и противообрастающих свойств судовых покрытий	111
<u>Щербаков А.С., Бобров М.Ю.</u>	
Патриотическое воспитание молодежи посредством физической культуры и спорта: потенциал, механизмы, перспективы	115

СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<u>Баженов Б.В.</u>	
Разработка автоматизированной системы запуска судового дизель-генератора.....	119
<u>Волков А.М.</u>	
Разработка проекта модернизации системы возбуждения на судах типа БМРТ	122
<u>Горбачев М.М., Ястребов Д.П., Швецов В.А., Белавина О.А., Косыгин В.О.</u>	
Совершенствование процесса неразрушающего контроля судовых цинковых протекторов.....	125
<u>Карпов И.Д., Шаповалова Е.В.</u>	
Анализ и перспективы использования 3D-печати при разработке мобильной микроГЭС	131
<u>Кирпиченко К.А.</u>	
Разработка сварочного оптимизированного позиционера малой грузоподъемности	135
<u>Кутилин Д.В., Шаповалова Е.В.</u>	
Разработка датчика частоты оборотов для универсальных электрических машин на базе микроконтроллера Arduino.....	140
<u>Ласков А.О., Волков В.С.</u>	
Бесщеточный синхронный генератор: надежное электроснабжение на промысловых судах	145
<u>Рак А.Н.</u>	
Об особенностях светотехнического обеспечения посадочных площадок на морских судах и буровых платформах.....	148
<u>Рак А.Н., Гутаревич В.О., Кутилин Д.В.</u>	
Обоснование частотного принципа управления асинхронным высоковольтным электроприводом подруливающего устройства.....	155
<u>Рак А.Н., Жуков С.А., Левищев И.О.</u>	
Определение параметров турбодизельного движения на кораблях	158
<u>Рак А.Н., Кошкин М.А.</u>	
Определение энергетических характеристик роторов Флеттнера.....	165
<u>Рак А.Н., Миловацкий К.Е.</u>	
Производство электрической энергии на морских судах рыбной промышленности.....	170

<u>Рак А.Н., Мхойн А.А.</u>	
Определение параметров гребной электрической установки БАТМ типа «Анатолий Пономарев»	173
<u>Рак А.Н., Павлов А.Р.</u>	
Повышение мощности судовых фотоэлектрических станций.....	177
<u>Рогожников А.О.</u>	
Проект разрабатываемого учебного лабораторного стенда имитации грузовой лебедки на основе шагового двигателя	181
<u>Рогожников А.О., Коноваленко А.М.</u>	
Исследование тепловых характеристик судового электропривода.....	187
<u>Рогожников А.О., Шунькин Р.А.</u>	
Модернизация тепловых характеристик судового электропривода.....	192
<u>Труднев С.Ю., Бурнаев М.Н.</u>	
Разработка системы автоматического управления водоотливной системы судна	197
<u>Труднев С.Ю., Ямпольский И.А.</u>	
Модернизация системы частоты вращения дизель-генераторного агрегата.....	201
<u>Шаповалова Е.В., Мясников Г.С.</u>	
Анализ технических решений установок по испытаниям асинхронных электродвигателей зарубежного производства.....	204
<u>Шаповалова Е.В., Рогожников А.О.</u>	
Анализ технических решений имитации работы судовой электростанции для подготовки судовых операторов	209
<u>Широков С.А.</u>	
Модернизация рыбообрабатывающего цеха судна БМРТ «Капитан Кайзер»	214
<u>Шиян В.О., Мищенко М.А., Васькин В.А.</u>	
Некоторые особенности разработки системы управления электродвигателем с обратной связью в рамках создания учебного стенда на базе ПЛК Siemens.....	217
<u>Шликать О.В., Волков В.С.</u>	
Модернизация судовой электроэнергетической системы судна БМРТ «Борис Трофименко»	222
<u>Ястребов Д.П.</u>	
Совершенствование автоматизированной измерительной системы контроля работоспособности коррозионной защиты морских судов	225
<u>Ястребов Д.П., Калюжный Д.Р.</u>	
Разработка механической части макета лебедки.....	230
<u>Ястребов Д.П., Кочетков Д.В.</u>	
Исследование трехфазной асинхронной машины с фазным ротором.....	235
<u>Ястребов Д.П., Новосадов Б.И.</u>	
Исследование трехфазной синхронной машины в среде Matlab Simulink	241

СЕКЦИЯ 3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<u>Ганькин В.С.</u>	
Умная теплица на базе микроконтроллера Arduino Uno	246
<u>Житников А.А.</u>	
Влияние электромагнитных помех на информационно-измерительные каналы судовых энергетических систем автоматизации	249
<u>Житников А.А., Марченко А.А.</u>	
Оценка показателей надежности информационно-измерительного канала температуры судовой энергетической установки	253
<u>Изотченко Р.И.</u>	
Проблемы и перспективы дистанционного обучения в морском образовании	258
<u>Кочкин М.Д.</u>	
Предпроектный анализ ледовой ходкости судна на примере железнодорожно-автомобильно-пассажи́рского паром.....	262

Перепелкин Н.Н., Труднев С.Ю.

Оптимизация электронных навигационных систем
для повышения эффективности рыболовного промысла268

Шереметьев А.Н., Лутцева Е.А.

Разработка системы распознавания дефектов упаковки рыбной продукции273

СЕКЦИЯ 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Брянцев М.А., Данилейченко А.А., Ковтун А.С., Доценко Д.М.

Показатели работы эжекторной системы наддува278

Игнаткина Е.Л., Белослудцев А.С.

Преимущества использования грузозахватных устройств подъемных кранов
с магнитным принципом действия283

Иодис В.А., Разеев Н.А., Курбачёв К.А.

Оптимизация судовой рециркуляционной системы кондиционирования воздуха.....288

Костенко А.В., Гладких А.С.

Поперечные колебания промежуточных валов судовых валопроводов292

Лебедева А.П., Степанова Е.А.

Исследование микропористой структуры пищевых сорбентов.....296

Разеев Н.А.

Проектирование систем кондиционирования воздуха на морских судах.....301

Фоменко С.А.

Динамические испытания пролетных строений галереи.....304

Список организаций – участников конференции и их адреса307

СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ, СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 629.5.083.5:623.746.-519

А.Р. Анисимов, Р.И. Изотченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: Anucumov2018@gmail.com; Izotchenko_RI@kamchatgtu.ru*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОРПУСОВ СУДНА

В условиях активного использования судов для грузоперевозок, промышленного рыболовства и перевозки людей стоит вопрос о безопасности и целостности корпуса судна. Известно, что диагностика единиц флота в ДОКе проходит один раз в 1–5 лет, в зависимости от типа корабля. Для организации эффективного мониторинга состояния корпуса в междоквый период рекомендуется применение беспилотных летательных аппаратов (в дальнейшем – БПЛА). Это позволяет оперативно фиксировать такие повреждения, как коррозия, вмятины и нарушения лакокрасочного покрытия, и принимать своевременные решения по их устранению.

Ключевые слова: БПЛА, диагностика корпуса судна, техническое обслуживание, судоремонт.

A.R. Anisimov, R.I. Izotchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: Anucumov2018@gmail.com; Izotchenko_RI@kamchatgtu.ru*

PROSPECTS FOR UNMANNED TECHNOLOGIES USAGE IN SHIP HULL DIAGNOSTICS

Given the active use of vessels for cargo transportation, industrial fishing, and passenger transport, the issue of hull safety and integrity is paramount. It is known that fleet unit diagnostics in dry dock occurs once every 1–5 years, depending on the type of ship. To organize effective monitoring of the hull condition during the interdock period, the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) is recommended. This allows to fix damages such as corrosion, dents and violations of the paint coating and to make decisions for their elimination in time.

Key words: UAV, ship hull diagnostics, maintenance, ship repair.

Современная морская отрасль стала неотъемлемой частью экономики и повседневной жизни человека. Суда используются в таких сферах, как рыболовство – траулеры и сейнеры, ведущие промысел в удаленных акваториях; грузоперевозки – танкеры, контейнеровозы и балкеры, пересекая океаны, доставляют сырье и товары между континентами; пассажирские перевозки – круизные лайнеры, проделывающие длинные путешествия, паромы, обеспечивающие постоянные перевозки людей из точки А в точку Б. Все корабли нуждаются в техосмотрах и проверках, но чтобы полностью и тщательно проверить судно, его отправляют в док (портовое сооружение для ремонта судов). Однако даже при плановом доковании интервалы между осмотрами могут быть слишком велики для оперативного выявления таких дефектов, как коррозия, трещины или повреждения защитных покрытий, возникших в ходе рейса.

Решением данной проблемы может стать внедрение систем регулярного мониторинга с применением БПЛА. Данная технология позволяет проводить оперативный осмотр корпуса судна непосредственно в порту при каждой швартовке, а в перспективе – даже во время стоянки на рейде.

Цель статьи – провести сравнительный анализ методов осмотра судов и предложить наиболее эффективный способ для диагностики корпусных конструкций, основанных на повышении безопасности и экономической эффективности судоремонта.

В зависимости от ситуации и типа судна, существуют разнообразные виды докования. Разберем на положительные и отрицательные стороны традиционные методы осмотра корпуса судна.

Ежегодное докование (рис. 1). Проводят для пассажирских, деревянных и композитных судов, а также судов, работающих в северных или тропических районах. Во время ежегодного докования, как правило, проходит очистка днища от морских организмов, окраска подводной части, устранение мелких дефектов, возможно проведение планово-предупредительного или малого ремонта [1].



Рис. 1. Ежегодное докование

Процесс сопряжен с существенными прямыми затратами на аренду дока и компенсацию простоя судна. Кроме того, сама процедура установки судна на кильблоки является технически сложной операцией. Стоит учесть, что происходит не только осмотр судна, но и является обязательной частью, которая позволяет восстановить поврежденные части.

Так как эта процедура не заменима и ее нельзя избежать, полностью заменить на БПЛА ее нельзя, но можно существенно сократить время пребывания в доке, используя дроны в качестве осмотра, а получаемые данные применять для точечного ремонта в зонах фактического повреждения.

Очередное докование (рис. 2). Для остальных судов очередное докование проводят один раз в пять лет. Но в течение этого периода должно быть проведено не менее двух промежуточных освидетельствований подводной части судна [1].



Рис. 2. Очередное докование

Так же как и при ежегодном доковании сложно полностью внедрить БПЛА. Можно сократить время простоя и ускорить процесс путем внедрения дронов.

Промежуточное докование (рис. 3). Проводят для обеспечения промежуточного освидетельствования судна. Освидетельствование судов возрастом до 15 лет может быть проведено на плаву без вывода судна из эксплуатации инспектором российского морского регистра судоходства и водолазами [1].



Рис. 3. Промежуточное докование

Здесь, без использования водолазов и привлечения средств на их работу, исследовать судно позволяют подводные дроны, которые без особых усилий и перезарядки кислорода исследуют всю подводную корпусную часть судна.

Виды дронов и положительные особенности при работе с ними. Имеются большое количество разновидностей, рассмотрим только необходимые для нашей задачи:



Рис. 4. Мультикоптер

Мультикоптеры

Пока большинство многороторных дронов способно летать лишь 20–30 минут с минимальной полезной нагрузкой, например видеочкамерой (рис. 4). Они просты и дешевы в изготовлении и потому доступны для покупки широкому кругу людей. Чтобы управлять этим аппаратом, не нужно проходить специальное обучение – достаточно внимательно прочитать и усвоить инструкцию [2].

Использование надводных дронов позволяет проводить комплексное обследование всей надводной части судна. В отличие от традиционных методов с привлечением высотников, БПЛА обеспечи-

вает полный охват поверхностей, высокую скорость осмотра – время обследования сокращается в 3–5 раз по сравнению с ручными методами; прецизионную точность – камеры высокого разрешения фиксируют микротрещины до 0,1 мм; и что является немаловажным, уменьшают риски при работе на высоте

Подводные дроны

Преимущества использования подводного дрона:

1. Один человек может завершить развертывание за 5 минут и приступить к проверке, не дожидаясь водолаза.
2. Применение подводных аппаратов позволяет снизить затраты на работы по осмотру судов.
3. Оснащенные запасным аккумулятором или питающиеся от сети переменного тока, подводные дроны могут работать непрерывно в течение длительного времени и повышать эффективность контроля [3].

Подводный дрон позволяет оперативно оценить состояние противообрастающего покрытия части корпуса судна, определить степень его повреждения и принять обоснованное решение о необходимости обращения в сервисную компанию (рис. 5). Когда судно находится в порту или

на якорной стоянке, аппарат обеспечивает быструю проверку ключевых элементов, таких как гребной винт, руль направления и кингстоны. В случае столкновения в воде дрон позволяет оценить масштабы повреждений носовой или кормовой части судна без необходимости немедленной постановки в док.

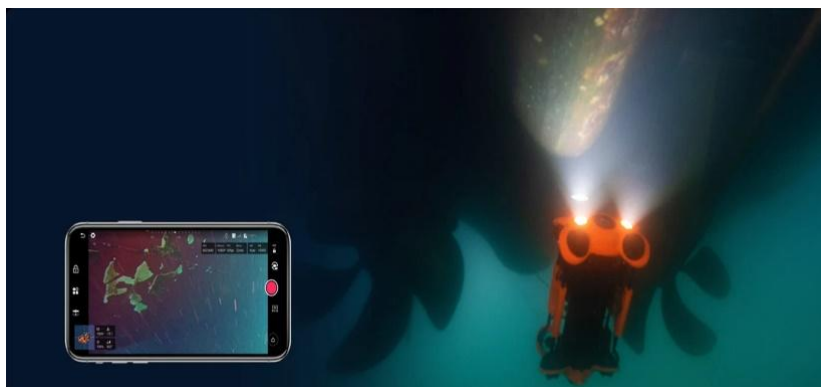


Рис. 5. Осмотр дроном подводной части корабля

Таким образом, применение дронов различных типов демонстрирует значительный потенциал для оптимизации процессов осмотра и обслуживания судов. Целый ряд значительных плюсов имеют дроны. Кроме того, их можно использовать не только для ремонта:

Надводные БПЛА позволяют:

- сократить время докования за счет ускорения осмотра надводной части;
- снизить финансовые затраты в перспективе;
- обеспечить простоту управления при доступной стоимости;
- осуществлять детальную съемку;

подводные БПЛА:

- исключить привлечение водолазов для промежуточного освидетельствования;
- оперативно определять необходимость сервисного обслуживания;
- значительно облегчить процесс диагностики подводной части;

особого внимания заслуживают дополнительные возможности дронов:

- проведение батиметрических измерений для оценки глубины и рельефа дна;
- мониторинг ледовой обстановки в высоких широтах
- документальная фиксация обстановки в навигационных происшествиях;
- контроль погрузочно-разгрузочных операций.

Определенно можно сказать, что интеграция беспилотных технологий в процессы осмотра и обслуживания судов представляет собой выгодное направление развития судоходной отрасли, так как имеет больше плюсов, чем минусов. Важно подчеркнуть, что наибольшая польза достигается путем совместной работы с традиционными методами. Такой подход позволяет сохранить преимущества проверенных временем технологий, дополняя их инновационными возможностями. Перспективы дальнейшего внедрения БПЛА видятся весьма оптимистичными, поскольку их развитие способствует не только экономической эффективности, но и повышению уровня безопасности морских операций.

Литература

1. URL: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/Докование>
2. URL: <https://djistor.ru/blogs/blog/Drony-i-BPLA-raznovidnosti-i-otlichiya-o-chem-govoryat-nazvaniya>
3. URL: <https://chasing-russia.ru/hull-inspection>

УДК 629.5.083.5

Д.С. Бобылев

*Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского,
Владивосток, 690003
e-mail: d.bobylev711@mail.ru*

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ МЕТОДИКИ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЛИКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ТНПА ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ПОДВОДНОЙ ЧАСТИ ОБШИВКИ КОРПУСА СУДНА

В статье приведены результаты аналитических исследований по тематике разработки методики обследования технического состояния подводной части обшивки корпуса судна и созданию технического облика специализированного телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) для проведения обследований. Описаны основные работы, которые возможно оперативно выполнить для проведения оценки технического состояния металлической обшивки корпуса, основные положения методики обследования с использованием ТНПА и требования к аппаратно-программному комплексу (АПК) ТНПА. Обсуждаются инструменты ИИ, которые необходимо адаптировать к АПК ТНПА для повышения информативности и автоматизации процесса обследования корпуса судна.

Ключевые слова: дистанционно управляемый аппарат, средства искусственного интеллекта, ультразвуковой мониторинг, остаточная толщина корпуса судна, микроскопические трещины в корпусе судна, обнаружение объектов на корпусе судна.

D.S. Bobylev

*Admiral Nevelskoy Maritime State University,
Vladivostok, 690003
e-mail: d.bobylev711@mail.ru*

DEVELOPMENT OF SURVEY METHODOLOGY MAIN PROVISIONS AND TECHNICAL APPEARANCE OF A SPECIALIZED ROV FOR MONITORING THE SHIP HULL UNDERWATER PART

The results of analytical research on the methodology development for inspecting the technical condition of ship underwater hull and creating technical design for a specialized remote operated vehicle (ROV) for these inspections are presented. The key actions that can be quickly performed to assess the technical condition of the metal hull, the basic principles of the inspection methodology using ROV and the requirements for the ROV's hardware and software system were described. AI tools that must be adapted to the ROV's hardware and software system to improve the information yield and automate the hull inspection process are discussed.

Key words: remote operated vehicle, artificial intelligence tools, ultrasound monitoring, residual thickness of ship hull, microscopic cracks in the ship hull, detection of objects on the ship hull.

Подводная часть обшивки судна постоянно подвергается воздействию агрессивной среды и механическим нагрузкам, что может приводить к коррозии, трещинам, уменьшению толщины металлических листов обшивки и другим дефектам. В настоящее время идет активное внедрение новых методов обследования корпуса с использованием ТНПА. Это позволяет значительно снизить расходы на процесс обследования, повысить точность диагностики за счет использования комплексных и современных методов обследования, сделать процесс подводного обследования безопасным для людей. Несвоевременное обнаружение повреждений повышает риск аварий и экологических катастроф. Регулярное обследование состояния корпуса позволяет планировать ремонты и продлевать сроки эксплуатации судна без необходимости его полного выведения из эксплуатации. Международные стандарты требуют проведения регулярных инспекций и подтверждения технического состояния корпуса судна через неразрушающие методы контроля. Раз-

витие методов неразрушающего контроля позволяет повысить точность, безопасность и скорость проведения обследований, а также уменьшить необходимость спусков под воду. Внедрение в практику подводных обследований методик с использованием ТНПА позволяет использовать методы неразрушающего контроля без участия водолазов. Внедрение ТНПА для подводных осмотров корпусных частей судов распространено в развитых судоходных странах, у крупных судовладельцев с целью повышения безопасности, эффективности и снижения затрат на техническое обслуживание. Практически все крупные судоходные операторы в Норвегии, Сингапуре, Японии, США, России и Западной Европе сотрудничают с подрядчиками, предоставляющими услуги по инспекциям с применением телеуправляемых аппаратов. Развивается специализированное направление в разработке ТНПА, которое призвано обеспечить потребности рынка услуг по осмотру подводной части корпусов судов. В РФ актуальность данного направления использования ТНПА возрастает в связи с требованиями к осмотру подводных частей корпусов судов, которые возвращаются в РФ из иностранных портов. Данное постановление действует с августа 2025 г. Наполнение миссии мониторинга конкретными функционалами обследования корпуса зависит от тех задач, которые ставят судоходные компании перед специализированными сервисами по проведению обследования. Однако на рынках отсутствуют специализированные ТНПА, предназначенные только для проведения подводных осмотровых работ. Как правило, операторы-компании, предоставляющие услуги по осмотру, используют готовые коммерческие ТНПА, и это создает определенные сложности в использовании специализированного оборудования, которое необходимо для проведения мониторинга технического состояния металлической обшивки подводной части корпуса судна. В основном используются следующие модели ТНПА: Deep Trekker DTG3 / DTG2 (Канада), Saab Seaeye Falcon (Великобритания), VideoRay, Oceaneering Millennium Plus, Oceaneering Millennium Plus (США), Chengdu Hensi ROV, QYSea Flyer 2 (Китай), ROVBilder (Россия) [1–4]. Использование коммерческих ТНПА значительно увеличивает стоимость услуг, т. к. требуется их адаптация под конкретные операции осмотра и использование необходимой для выполнения этих операций аппаратуры. Размеры рынка таких услуг в РФ делают актуальной разработку специализированного ТНПА для выполнения осмотровых работ.

Аналитические исследования проводились в целях разработки специализированного ТНПА, который выполняет все функционалы, необходимые для комплексного обследования и мониторинга технического состояния подводной части корпусов судов. Требования на конструкцию ТНПА, форму корпуса, мощность движителей, энергообеспечение, глубину погружения были сформулированы исходя из:

- необходимости осуществления измерения остаточной толщины корпуса судна с использованием метода ультразвуковой дефектоскопии;
- детектирования и измерения параметров микротрещин на металлических листах подводной части обшивки корпуса судна;
- обнаружения посторонних предметов на подводной части корпуса судна.

Результаты аналитических исследований для выработки требований непосредственно к ТНПА для обеспечения выполнения функционалов измерения остаточной толщины металлической обшивки подводной части корпуса судна, детектирования и измерения параметров микротрещин формулируется следующим образом:

- форма корпуса должна минимизировать гидродинамическое сопротивление и обеспечить устойчивость при погружении и маневрировании;
- ТНПА должна обеспечивать устойчивое положение во время проведения видеообследования корпуса при скоростях подводных течений до 2-х узлов;
- конструкция корпуса должна обеспечивать надежный доступ к поверхности металлических листов обшивки корпуса судна для процедуры ультразвуковой диагностики остаточной толщины;
- аппаратный комплекс ТНПА должен содержать устройство для очистки локальных участков корпуса, в которых необходимо проводить УЗИ-диагностику;
- необходимо провести разработку фиксаторов ТНПА на корпусе судна для стабилизации положения во время проведения УЗИ-диагностики и измерения параметров микротрещин на корпусе;
- максимальная глубина погружения ТНПА составляет не менее 100 метров.

Для автоматизации процессов осмотра и мониторинга технического состояния подводной части корпуса судна необходимо адаптировать инструменты искусственного интеллекта в аппаратно-программную оболочку ТНПА. Анализ методов и моделей ИИ, наиболее подходящих для интерпретации видео с компьютерного зрения ТНПА, позволяет определить наиболее подходящую модель типа YOLO и Mask R-CNN и метод сегментации изображений Semantic/Instance Segmentation [5, 6]. Для обучения моделей YOLOv8 и Mask R-CNN на задачи детектирования посторонних предметов на подводной части судна можно использовать открытые датасеты типа Ship Hull Inspection Dataset, ROV Inspection Datasets [7], Underwater Mine Detection Dataset [8]. Однако в процессе использования ТНПА для детектирования посторонних предметов, необходимо создавать свой архив данных и комбинировать его с доступными датасетами. Эффективность работы системы детектирования посторонних объектов по видео с компьютерного зрения ТНПА зависит от качества изображения. Освещенность частей корпуса, наличие взвеси, прозрачность воды во время обследования сильно влияют на точность детектирования. Это требует постоянного дообучения моделей с использованием реальных данных. Наиболее отработанными методами для корректировки данных при различных освещенностях является метод Underwater Image Enhancement (UIE) с нейросетевой коррекцией Water-Net [9], для удаления воздействия искажений изображений за счет наличия взвеси и размывтия турбулентными потоками можно использовать DeblurGAN-v2 или сеть UWGAN [10].

Для детектирования и анализа характеристик микротрещин на подводной части корпуса судна с использованием данных компьютерного зрения ТНПА необходимо использовать комплексные методики анализа компьютерного зрения ТНПА, в которых интегрируются методы глубокого обучения и прецизионной постобработки. Хорошо рекомендуют себя методы семантической сегментации при точном выделении микротрещин, а также детекция на основе YOLO и Mask R-CNN (в случае если микротрещины видны как линейные объекты). Для определения геометрических параметров микротрещин и степени их опасности для последующей эксплуатации судна наиболее подходящими инструментами ИИ являются: библиотека с открытым кодом Open CV с алгоритмами findContours и алгоритм Zhang Suen [11].

Для анализа остаточной толщины металлической обшивки корпуса судна по данным ультразвукового мониторинга с использованием ТНПА требуются специализированные инструменты ИИ, способные обрабатывать сигналы, интерпретировать сканы и прогнозировать деградацию материала. Анализ использования этих инструментов позволяет выделить наиболее эффективные для их использования в автоматизированном режиме на ТНПА. Для предварительной обработки результатов УЗИ-зондирования обычно используются Вейвлет-преобразование (Daubechies, Haar) для выделения полезного сигнала на фоне помех и адаптивные фильтры Калмана [12, 13]. Алгоритмы SAFT (Synthetic Aperture Focusing Technique) для повышения разрешения и глубокое обучение используются для реконструкции 3D-модели толщины металлических листов [14, 15].

В статье рассмотрена новая инновационная методика автоматизированного осмотра и мониторинга технического состояния подводной части корпуса судна с использованием ТНПА, который оснащен АПК компьютерного зрения и УЗИ-диагностикой, в которую интегрированы инструменты ИИ. Применение моделей YOLOv8, Mask R-CNN или 3D CNN позволяет с высокой точностью обнаруживать и классифицировать объекты даже в условиях низкой видимости. УЗИ-сканирование в сочетании с SAFT-алгоритмами и нейросетевыми моделями (U-Net 3D, LSTM) обеспечивает точное определение остаточной толщины металла. Оснащение компьютерного зрения и УЗИ диагностики ТНПА элементами ИИ представляет собой эффективный инструмент для обеспечения безопасности и эксплуатационной надежности судов. Эта методика не только устраняет необходимость в дорогостоящих доках, но и позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях, минимизируя риски аварий.

Литература

1. Deep Trekker. Сайт компании. – URL: <https://www.deeptrekker.com/products> (дата обращения: 24.10.2025).
2. Saab Seaeye Falcon. Сайт. – URL: <https://www.saabseaeye.com/solutions/underwater-vehicles/falcon> (дата обращения: 24.10.2025).

3. Oceaneering Millennium Plus. Сайт. – URL: <https://www.oceaneering.com/rov-services/rov-systems/> (дата обращения 20.10.2025).
4. ROV Bilder. Сайт. – URL: <https://www.rovbuilder.com/> (дата обращения: 20.10.2025).
5. *Koylu C., Zhao C., Shao W.* Deep neural networks and kernel density estimation for detecting human activity patterns from geo-tagged images: A case study of birdwatching on flickr // ISPRS international journal of geo-information. – 2019. – Т. 8, № 1. – P. 45.
6. *Ren S. et al.* Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2016. – Т. 39, № 6. – С. 1137–1149.
7. ROV Inspection Datasets. – URL: https://www.researchgate.net/publication/353568044_Underwater_inspection_and_intervention_dataset (дата обращения: 20.10.2025)
8. Underwater Mine Detection Dataset. – URL: <https://universe.roboflow.com/underwater-mine-detection-cnn5c/mine-detection-mzbrp> (дата обращения: 20.20.2025).
9. Underwater-Image Enhancement Based on Maximum Information-Channel Correction and Edge-Preserving Filtering / *Liu W., Xu J., He S., Chen Y., Zhang X., Shu H., Qi P.* // Symmetry. – 2025. – № 17. – Art. № 725. – URL: <https://doi.org/10.3390/sym17050725>.
10. DeblurGAN-v2: Deblurring (Orders-of-Magnitude) Faster and Better / *Kupyn O., Martyniuk T., Wu Junru, Wang Zhangyang* // Conference: 2019 IEEE/CVF International Conference in Computer Vision (ICCV). – 2019. – P. 8877–8886. DOI: 10.1109/ICCV.2019.00897.
11. Improved Zhang-Suen thinning algorithm in binary line drawing applications / *Chen, Wei & Sui, Lichun & Xu, Zhengchao & Lang, Yu.* // International Conference on Systems and Informatics (ICSAI). – 2012. DOI: 10.1109/ICSAI.2012.6223430.
12. Comparison between Haar and Daubechies Wavelet Transformions on FPGA Technology / *Mahmoud, Mohamed & Dessouky, M.I. & Deyab, Salah & Elfouly, Fatma* // International Journal of Computing. – 2008. DOI: 10.47839/ijc.6.3.447.
13. *Хмарский П.А., Солонар А.С.* Особенности реализации адаптивных дискретных фильтров Калмана при косвенных измерениях // Доклады БГУИР. – 2012. – № 8(70). – 57–63.
14. Synthetic Aperture Focusing Technique Signal Processing / *Langenberg K.J., Berger M., Kreutter Th., Mayer K., Schmitz V.* // NDT International. – June 1986. – Vol. 19, Iss. 3. – P. 177–189.
15. *Stepinski, Tadeusz & Lingvall, Fredrik.* Synthetic aperture focusing techniques for ultrasonic imaging of solid objects // Synthetic Aperture Radar (EUSAR). European Conference. – 2010. – P. 438–441. – URL: https://www.researchgate.net/publication/224233701_Synthetic_aperture_focusing_techniques_for_ultrasonic_imaging_of_solid_objects/citation/download.

УДК 796

О.С. Борисюк, М.Ю. Бобров

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: olegborisuk856@gmail.com*

ВЛИЯНИЕ СПОРТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПАТРИОТИЗМА У МОЛОДЕЖИ И ПОДРАСТАЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

В статье исследуется роль спорта в воспитании патриотизма среди молодежи. Особое внимание уделяется тому, как спортивные мероприятия и участие в них способствуют формированию гражданских ценностей, укреплению чувства принадлежности к своей стране и воспитанию патриотических чувств у подрастающего поколения. Рассматриваются ключевые механизмы влияния спорта на патриотизм, а также влияние командных и индивидуальных видов спорта на молодежное сознание.

Ключевые слова: спорт, патриотизм, молодежь, подрастающее поколение, гражданская идентичность, спортивные мероприятия, волонтерство, массовый спорт, командные виды спорта, физическая культура.

O.S. Borisyuk, M.Yu. Bobrov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: olegborisuk856@gmail.com*

SPORT INFLUENCE ON THE FORMATION OF PATRIOTISM AMONG YOUTH AND GROWING GENERATION

The role of sport in fostering patriotism among young people is investigated. Special attention is paid to how sports events and participation in them contribute to the formation of civic values, strengthening the sense of belonging to one's country and fostering patriotic feelings among the younger generation. The key mechanisms of sport influence on patriotism as well as the impact of team and individual sports on the youth consciousness are considered.

Key words: sport, patriotism, youth, younger generation, civic identity, sport events, volunteering, mass sport, team sports, physical culture.

В современном обществе патриотизм является важным элементом формирования гражданской идентичности и социальной сплоченности. Влияние спорта на воспитание патриотизма у молодежи часто рассматривается как ключевой фактор, способствующий укреплению национальной гордости и социальной ответственности. Спортивные достижения, участие в массовых спортивных событиях и волонтерская деятельность в сфере физической культуры оказывают заметное влияние на восприятие молодежью своей страны и общества. Спорт не только развивает физические качества, но и способствует формированию чувства общности, социальной идентичности и коллективного духа, что напрямую связано с патриотизмом.

Роль спорта в формировании патриотизма. Спорт является эффективным инструментом воспитания патриотизма по нескольким причинам. Во-первых, участие в спортивных соревнованиях, особенно на международной арене, служит не только для достижения личных целей, но и для представления своей страны на мировом уровне. Во-вторых, физическая культура и командные виды спорта способствуют развитию чувства коллективной идентичности, что способствует укреплению связи между индивидом и государством.

Спортивные достижения и патриотизм. Когда спортсмены добиваются успеха на международных аренах, таких как Олимпийские игры или чемпионаты мира, это не только приносит гордость за личные достижения, но и вызывает национальное единство. Молодежь видит в спор-

тивных победах символ национальной силы, духа и трудолюбия. Спортивные успехи становятся поводом для обсуждения достижения страны на мировом уровне, и эта гордость активно передается молодежи [1].

Коллективные виды спорта и гражданская идентичность. Командные виды спорта играют важную роль в формировании гражданской идентичности. Здесь важен не только спортивный успех, но и процесс взаимодействия, сотрудничества, взаимопомощи и общей цели. Участие в таких видах спорта, как футбол, баскетбол или хоккей, способствует формированию у молодежи духа коллективизма, доверия к другим и готовности работать на общую победу. Это формирует чувство принадлежности к коллективу и, соответственно, к национальной культуре [2].

Спортивные мероприятия как средство воспитания патриотизма. Организация и участие в массовых спортивных мероприятиях, таких как спортивные праздники, фестивали или чемпионаты, служат не только для популяризации физической культуры, но и укрепляют патриотические чувства у молодежи. Такие мероприятия создают возможность для молодежи не только проявить свои спортивные достижения, но и поддержать свою страну, чувствуя себя частью чего-то большего [3]. Важным аспектом является то, что участие в организации таких событий способствует формированию социальной ответственности и национального самосознания [4].

Волонтерская деятельность и социальная ответственность. Волонтерство в сфере спорта является важной частью патриотического воспитания. Молодежь, участвующая в организации спортивных мероприятий, активно погружается в атмосферу культурной и исторической идентичности своего народа. Эти события дают возможность не только проявить физическую активность, но и внести вклад в развитие своей страны, а также приобрести опыт организации и лидерства, что в свою очередь формирует чувство гордости за свою страну [5].

Эмоциональная связь с родиной через спорт. Спортивные соревнования и поддержка национальных команд являются мощным источником эмоциональной вовлеченности. Молодежь активно переживает за успехи своей сборной, что создает сильную эмоциональную связь с родиной. Во время крупных турниров, таких как Олимпийские игры или чемпионаты мира, общество объединяется для поддержки своих спортсменов, что служит катализатором патриотических настроений [6]. Это восприятие общности и сопричастности к успехам на международной арене усиливает патриотизм и гражданскую идентичность у молодежи.

Спорт является важным элементом формирования патриотизма у молодежи и подрастающего поколения. Он способствует развитию гражданских ценностей, формированию чувства принадлежности к своей стране и укреплению социальной идентичности. Спортивные достижения, участие в командных видах спорта и волонтерская деятельность в сфере физической культуры играют важную роль в воспитании патриотизма. Массовые спортивные мероприятия служат не только для пропаганды здорового образа жизни, но и для формирования чувства гордости за свою страну и ее достижения на мировом уровне [7, 8].

Литература

1. Чеснокова И.В. Спортивные достижения и их влияние на патриотическое воспитание молодежи // Вестник спорта. – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 42–49.
2. Иванов М.В. Патриотизм и спортивная культура // Социология спорта. – 2019. – Т. 5, № 2. – С. 76–83.
3. Ларина Н.И. Спортивные мероприятия и патриотизм молодежи // Научные исследования в области спорта. – 2018. – Т. 7, № 1. – С. 15–21.
4. Алексеев П.С. Социальные аспекты физической культуры и спорт как фактор патриотизма // Философия и спорт. – 2021. – Т. 10, № 4. – С. 35–40.
5. Кузнецова Е.Н. Влияние массового спорта на формирование гражданской идентичности у молодежи // Журнал молодежной политики. – 2022. – Т. 8, № 2. – С. 12–20.
6. Соловьев А.Л. Спорт и национальная культура: воспитание патриотизма через физическую активность // Научные горизонты. – 2017. – Т. 3, № 1. – С. 54–60.
7. Макарова Т.Ю. Роль волонтерства в патриотическом воспитании молодежи: анализ современных тенденций // Образование и общество. – 2020. – Т. 15, № 5. – С. 89–95.
8. Петрова Н.В. Патриотизм через спорт: практический аспект // Известия высших учебных заведений. Физическая культура. – 2019. – № 4(3). – С. 68–73.

УДК 627.777

А.Д. Власенко, Р.И. Изотченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: antonkamchatka7@gmail.com; Izotchenko_RI@kamchatgtu.ru*

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ НОВЕЙШИХ СПАСАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА СУДАХ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА

Безопасность судов рыбопромыслового флота – это ключевой фактор, от которого зависит эффективность работы в условиях суровых морских условий. За последние годы увеличилось число аварий и чрезвычайных ситуаций на рыболовных судах. Это связано как с ростом размеров и сложности судов, так и с ухудшением погодных условий. В таких условиях особенно важным становится использование современных спасательных средств, которые могут значительно повысить шансы экипажа на выживание и своевременное спасение.

Ключевые слова: спасательные средства, рыбопромысловый флот, EPIRB, AIS-SART, спасение, аварийные ситуации, безопасность.

A.D. Vlasenko, R.I. Izotchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: antonkamchatka7@gmail.com; Izotchenko_RI@kamchatgtu.ru*

PROSPECTS FOR USING THE LATEST RESCUER EQUIPMENT ON FISHING VESSELS

The safety of fishing vessels is a key factor determining operational efficiency in harsh marine conditions. In recent years, the number of accidents and emergencies on fishing vessels has increased. This is due to both the increasing size and complexity of the vessels and deteriorating weather conditions. In such conditions, the use of modern life-saving equipment becomes especially important as it can significantly increase the crew's chances of survival and timely rescue.

Key words: life-saving appliances, fishing fleet, EPIRB, AIS-SART, rescue, emergency situations, safety.

Безопасность судов и экипажа регулируется рядом международных правил и нормативов, которые устанавливают единые требования к оборудованию и его использованию на рыболовных судах. Основные документы, регулирующие использование спасательных средств, включают [1]:

1. *Международную конвенцию SOLAS* – один из важнейших международных документов, который задает требования к спасательным средствам, их размещению, маркировке и эксплуатации. В рамках SOLAS прописаны минимальные стандарты по оснащению судов спасательными жилетами, плотами, автоматическими системами поиска и спасения, а также требования к их регулярной проверке и обслуживанию.

2. *Конвенцию STCW* – регулирует подготовку и квалификацию экипажей, включая обучение правильному использованию спасательных средств и аварийных систем.

3. *Международную морскую организацию (ИМО)* – разрабатывает рекомендации и стандарты по безопасности судов, в том числе и для рыбопромысловых судов.

4. *Национальные регламенты и инспекции*, например, правила Российского морского регистра судоходства (РМРС), которые дополнительно регулируют оснащение и проверку спасательного оборудования на рыболовных судах.

Эти стандарты требуют постоянного обновления и модернизации спасательного оборудования, а также регулярных тренировок экипажа по его использованию.

Согласно требованиям Конвенции SOLAS и Кодекса по спасательным средствам (LSA Code) спасательное оснащение промысловых судов целесообразно рассматривать в трех группах: а) индивидуальные средства защиты; б) коллективные средства; в) средства обнаружения и вызова помощи. Ниже кратко отмечены решения, доказавшие эффективность в рыболовной практике [2].

Спасательные жилеты. Для флота предпочтительны надувные модели с автоматическим или ручным срабатыванием. Источник газа размещается в баллоне, активация происходит при погружении в воду либо по команде члена экипажа. К современным обязательным элементам относятся светоотражающие вставки, свисток и автономный огонь; регулируемая система креплений обеспечивает правильную посадку. Для работы в тяжелую погоду полезен капюшон-спрейхуд и крепления под персональные маяки (PLB/AIS-beacon).

Спасательные плоты. Плоты поставляются в герметичных контейнерах с гидростатическим размыкателем (HRU), благодаря чему при затоплении они всплывают и раскрываются автоматически. Конструкция предусматривает тент, теплоизоляционный настил, устройства посадки и леерную систему удержания [3]. В состав комплектности входят вода и пайки, аптечка, сигнальные средства; при возможности дополнительно размещают портативные УКВ-радиостанции и пассивные средства заметности (радарные отражатели).

Средства обнаружения и вызова помощи. Базовый минимум включает: EPIRB системы COSPAS-SARSAT на частоте 406 МГц, обеспечивающий автоматическое включение при контакте с водой или отделении от судна и передачу идентификатора с координатами (при наличии GNSS-приемника); AIS-SART и персональные AIS-маяки, сигнал которых отображается на ЭКНИС и навигационных приемниках ближайших судов и береговых служб; классический SART на 9 ГГц как резервный ответчик для радиолокационных станций [4].

Текущие тенденции. На судах все шире применяются датчики «человек за бортом», сетевые шлюзы и диагностические модули, связывающие жилеты, плоты и маяки в единый контур ГМССБ. Переход к дистанционному мониторингу позволяет контролировать состояние батарей, сроки освидетельствования и вести обслуживающие журналы в электронном виде.

Практический эффект от внедрения современных решений проявляется в следующем:

1. Сокращается время поиска. EPIRB и AIS-SART дают спасателям точку для выхода на район бедствия в пределах десятков минут после активации, что особенно важно при ограниченной видимости и в холодной воде.

2. Повышается выживаемость экипажа. Наличие теплого укрытия на плоту, светоотражателей и сигнальных огней, а также персональных передатчиков заметно увеличивает вероятность благополучного исхода до прибытия помощи.

3. Улучшается организация работ. Интеграция с навигационными комплексами и ГМССБ обеспечивает более точное целеуказание и согласованность действий между судном, спасательными центрами и участниками операции.

4. Снижаются эксплуатационные риски и потери. Предотвращение тяжелых последствий аварий, уменьшение времени простоя судна и соответствие нормам безопасности в долгосрочной перспективе компенсируют первоначальные затраты.

5. Обеспечивается соответствие требованиям IMO, SOLAS, правилам PMPC и национальным регистрам, что напрямую влияет на допуск к работе и страховые условия.

Несмотря на прогресс, часть промыслового флота продолжает эксплуатировать устаревшие комплекты. Обновление оправдано по трем причинам: необходимость полного соответствия действующим требованиям международных конвенций и надзорных органов; повышение надежности и ресурса за счет коррозионно-стойких материалов и продуманной эргономики; возможность интеграции с цифровыми системами поиска, включая персональные маяки и облачные сервисы сопровождения.

Анализ показал, что внедрение современного комплекса спасательных средств на рыболовных судах повышает общую безопасность промысла и результативность поисково-спасательных мероприятий. К ключевым выводам относятся:

1. Рост вероятности спасения: автоматические маяки, персональные передатчики и мониторинг состояния судна позволяют быстрее обнаружить бедствие и поддерживать жизнеспособность пострадавших до подхода помощи.

2. Сокращение времени реагирования: EPIRB и AIS-SART обеспечивают оперативное целеуказание даже при плохой видимости и низкой температуре воды, что критично для северных морей.

3. Экономическая целесообразность: снижение тяжести последствий аварий и времени простоя перекрывает первоначальные вложения в оборудование и обучение.

4. Соблюдение стандартов: применение решений, отвечающих требованиям IMO/SOLAS и национальных правил, снижает регуляторные риски и укрепляет репутацию судовладельца.

Литература

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море – 74, с поправками / Международная морская организация. – СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2024.

2. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты – 78, с поправками / Международная морская организация. – СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2021.

3. Наставление по организации штурманской службы на морских судах флота рыбной промышленности СССР – 86, издание второе исправленное / Министерство рыбной промышленности СССР. – Л.: Знак Почета, 1989.

4. Правила классификации и постройки морских судов / Российский морской регистр судоходства. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2025.

УДК 629.5.035.5

Р.А. Гараев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: yesproinpast@gmail.com*

К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ РАСЧЕТА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДА

Статья посвящена анализу различных методов расчета на крутильные колебания валопроводов судовых энергетических установок. Проблема крутильных колебаний является важной научно-технической задачей, которая оказывает влияние на безопасность, надежность и экономическую эффективность работы судна. Рассматриваются причины возникновения крутильных колебаний и их возможные последствия, включая повреждение элементов валопровода и дальнейшее развитие аварийных ситуаций. Изложены принципы построения крутильных схем валопроводов и основные методы их расчета. Представлена сравнительная характеристика существующих методик с точки зрения практической применимости, а также рассмотрены их ключевые преимущества и недостатки.

Ключевые слова: валопровод, судовая энергетическая установка, передача крутящего момента, вибрации, крутильная схема.

R.A. Garaev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: yesproinpast@gmail.com*

ON THE ISSUE OF METHODS FOR CALCULATING SHAFT LINE TORSIONAL VIBRATIONS

The article is devoted to the analysis of various calculation methods for marine power plants shaft line torsional vibrations. The problem of torsional vibrations is an important scientific and technical problem that affects the safety, reliability and economic efficiency of the vessel. The causes of torsional vibrations and their possible consequences including shaft line elements damage and the further development of emergency situations are considered. The principles of constructing shaft line torsional circuits and the main methods of their calculation are described. A comparative analysis of existing methods in terms of their practical applicability and their key advantages and disadvantages are presented.

Key words: shaft line, marine power plant, torque transmission, vibrations, torsional circuit.

Государство и частные судовладельцы ежегодно разрабатывают и внедряют меры по модернизации морально устаревших судов и строительству новых, более современных единиц флота, а также регулярно пересматривают эффективность ранее принятых решений с целью их доработки и совершенствования. Тем не менее, согласно разной статистике средний возраст судов находится в диапазоне от 27 до 41 года, а их износ составляет более 80%. По данным статистики Министерства промышленности и торговли, представленной на II Всероссийском Морском конгрессе, средний возраст судов в России на 2024 г. превысил 38 лет, причем наиболее старыми считаются суда именно речного флота [1]. Эта цифра ясно демонстрирует, что российский флот продолжает стареть, а его дальнейшая эксплуатация сопряжена с повышенным риском аварий и катастроф.

В связи с этим можно с уверенностью утверждать, что требования, предъявляемые надзорными органами и классификационными обществами к процессу расчета, проектирования, строительства, эксплуатации и последующей модернизации судов с каждым годом будут становиться еще более строгими и комплексными. Сегодня особое внимание уделяется широкому спектру вопросов: эффективности работы механических систем, надежности вспомогательных механиз-

мов, прочности и долговечности конструкций, остойчивости судна, пожарной и электробезопасности, охране труда экипажа и предотвращению загрязнения морской среды. Однако существует важная область, зачастую остающаяся вне должного контроля и не имеющая четко закрепленных и точных методик в подведомственных документах – это крутильные колебания валопровода. На данный момент в нормативных документах Российского морского Регистра судоходства упоминаются лишь общие рекомендации и информация по расчету крутильных колебаний, которая не учитывает специфику работы валопроводов конкретных судов. Для грамотного и практически применимого расчета крутильных колебаний валопровода требуется индивидуальный подход к каждому типу судна, а в ряде случаев даже к судам одного проекта и серии постройки.

Крутильные колебания представляют серьезную опасность для нормальной эксплуатации судна ввиду возможности нарушения работы элементов судового валопровода, включающих в себя: двигатели, муфты, редукторы, валы и гребные винты [2]. При совпадении частоты внешних воздействий с собственной частотой системы возникает резонанс, который приводит к значительному увеличению крутящего момента и напряжений в валу, которые могут многократно превышать предел прочности материала. Если такие воздействия вовремя не распознать, не гасить и не контролировать, то валопровод будет работать под чрезмерными нагрузками, что существенно повышает риск его повреждения и последующей потери рабочих качеств.

Не менее важным пунктом можно назвать и циклические нагрузки, возникающие в процессе колебаний, приводящие к накоплению усталостных повреждений. Конструкция в местах концентрации напряжений постепенно теряет свои рабочие характеристики из-за микротрещин, которые со временем распространяются, снижая надежность элементов и увеличивая вероятность их внезапного отказа либо разрушения даже при нагрузках ниже допустимого предела. Дополнительную опасность создает неравномерное распределение крутильных деформаций вдоль валопровода, особенно при переходных режимах работы судовой энергетической установки. Такие скачкообразные нагрузки вызывают волны напряжений, которые могут привести к выходу из строя различных узлов валовой линии.

Чрезмерные крутильные колебания, помимо составных частей валопровода, также оказывают негативное влияние как на корпусные части судна, так и на другие силовые агрегаты. Это приводит к увеличению износа подшипников, росту трения и риску заклинивания вращающихся частей, что в совокупности снижает эксплуатационную надежность силовой установки и может являться веским основанием для задержания судна в порту.

В настоящее время проведение исследований крутильных колебаний судовых энергетических установок является неотъемлемой частью как проектирования и модернизации судов, так и мониторинга технического состояния их пропульсивных систем в ходе эксплуатации. Без этих исследований оформление и одобрение проектной документации невозможно. Особое внимание уделяется случаям, когда в валопроводной линии происходят изменения, способные повлиять на ее динамические характеристики – например, замена главного двигателя, изменение длины или диаметра валов и т. д.

Исчерпывающие требования к проведению таких исследований приведены в нормативных документах Российского морского регистра судоходства (РМРС). Отдельного внимания заслуживает тот факт, что по сравнению с Международной ассоциацией классификационных обществ (МАКО), РМРС предъявляет наиболее строгие и детализированные нормативные требования к расчетам и экспериментальной оценке крутильных колебаний [3]. Эти требования охватывают как этап проектирования, так и эксплуатационный контроль, и закреплены в ряде официальных документов РС. Ключевым нормативным актом в данной области можно назвать «Крутильные колебания» – раздел 8 части VII Механические установки Правил классификации и постройки морских судов, который устанавливает основные технические требования к расчетам, допускам и методам анализа и служит фундаментом для последующего проектного и эксплуатационного контроля.

Дополняющими документами, конкретизирующими порядок расчетов и измерений крутильных колебаний, являются:

– «Расчеты и измерения крутильных колебаний валопроводов судовых энергетических установок и агрегатов» – глава 6.6 части 5 Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов, НД № 2-020101-040, где изложены подробные требования к расчетным моделям, методикам натурных испытаний, а также допустимым значениям параметров крутильных колебаний;

– «Инструкция по оформлению материалов по крутильным колебаниям валопроводов судовых энергетических установок и агрегатов» – приложение к главе 6.6 части 5 тех же Правил, НД № 2-020101-040, регламентирующая структуру и содержание отчетной документации по результатам расчетов и измерений, включая графики, схемы, диаграммы и обоснования технических решений.

При этом не менее важное внимание уделяется эксплуатационному состоянию демпфирующих устройств, методика диагностирования, определение остаточного ресурса и критерии дальнейшей пригодности которых приведены в приложении 47 к «Руководству по техническому наблюдению за судами в эксплуатации».

Принцип расчета крутильных колебаний. Расчет крутильных колебаний – это трудоемкий вычислительный процесс, состоящий из внушительного числа последовательных этапов. Последовательность, ресурсоемкость и количество данных этапов разнится от судна к судну, но общее содержание каждого из них остается постоянным [4]. Для облегчения понимания и выполнения процесса расчета следует использовать однотипные формулы и способы подсчетов, применение которых, в свою очередь, обоснованы опытом предыдущих расчетов. Важно понимать, что для этого требуется единая система проведения расчета крутильных колебаний, способная соответствовать всем требованиям как при проведении полноценного исследования, так и выполнении его в виде эскизов.

Общая структура расчета крутильных колебаний для проведения полноценного исследования представляет собой следующую совокупность последовательных операций.

Первым этапом является формирование исходной параметрической базы и определение схемы системы. В первую очередь создается эскизный чертеж эквивалентной модели валопровода, на котором фиксируются все геометрические размеры и узлы, необходимые для расчета. Далее, согласно рекомендациям Регистра судоходства, литературе и различных пособиях, посвященных расчету крутильных колебаний, рассматриваются данные, необходимые для расчета.

К таким данным относят характеристики как отдельных дискретных масс, так и элементов, соединяющих эти массы. Ключевыми параметрами являются моменты инерции масс основных вращающихся частей, таких как маховики, редукторы, редукторные валы, гребной винт, кривошипно-шатунный механизм (КШМ) и т. д., повышающие сложность изменения угловой скорости приведенных элементов, а также влияние этих изменений на динамику всей системы. Не менее важным параметром является податливость металлических валов (коленчатого, ступенчатого, гребного) и эластичных соединений. К эластичным соединениям можно отнести ременную или клиноременную передачу, эластичные муфты с металлическими и неметаллическими элементами. Также существуют магнитные и гидравлические муфты с супервысокой податливостью связи, податливость которых можно считать равной бесконечности. При использовании данных муфт крутильная система, образно, разделяется на два независимых друг от друга участка.

Помимо этого, в состав крутильной схемы обычно включают элементы, отвечающие за затухание колебаний – демпфирование инерционных и упругих моментов, что особенно широко применяется в зарубежных программных комплексах для моделирования крутильных колебаний.

Вторым этапом считается расчет свободных колебаний, для которого определяют диапазон изучаемых частот, актуальный для режимов работы установки. После этого оценивают свободные колебания по упрощенным формулам согласно найденному диапазону и уточняют их построением соответствующих форм колебаний полной модели. Затем производят расчет напряжений в каждом участке и выявляют наиболее критичные точки. На основании этих данных определяют критические обороты, при которых возможно появление резонанса.

Третьим этапом является анализ резонансных колебаний: из всех возможных возбуждений выбирают наиболее значимые по амплитуде, гармонические составляющие которых получают через разложение Фурье. Далее анализируют влияние диссипативных сил, описывая их характеристики аналитическим или графическим способами, и вычисляют амплитуды резонансных напряжений в наиболее напряженных зонах. Далее сравнивают эти амплитуды с пределами линейного поведения, исключают безопасные резонансы и учитывают влияние скорости прохождения через резонансные зоны и неравномерности нагрузки по цилиндрам. На этом этапе формируют предварительную карту зон с запретным числом оборотов.

Четвертый этап включает в себя уточнение расчета резонансных колебаний с учетом наличия нелинейности в системе, которое состоит в определении реактивных характеристик нели-

нейных звеньев и определения взаимозависимости амплитуд и частот, а также уточнение напряжений с учетом нелинейности.

Пятым этапом считается расчет вынужденных колебаний: сначала в линейной схеме – по каждому возбуждающему моменту, а затем учитывают вклад всех гармоник, включая линейные и нелинейные взаимодействия, и уточняют ширину запретных зон числа оборотов.

Шестой этап заключается в проведении сравнительного анализа полученных расчетных данных с апробированными результатами, теоретически и экспериментально подтвержденными при эксплуатации судов со схожей конструктивной схемой. В случае высокой схожести по большинству параметров допускается использование результатов прототипов для оценки качества проведенных вычислений.

Седьмой этап считается практическим и включает в себя анализ, разработку и последующий выбор мер по снижению либо полному устранению опасных колебаний. Принимаемые меры включают в себя установку демпферов или изменение параметров системы, а также подбор соответствующих режимов работы для измененных элементов валопровода и выполнение проверочного перерасчета, положительный результат которого является подтверждением эффективности принятых мер.

Последним этапом служит проведение торсиографирования – снятие и обработка данных в критических точках, необходимое для окончательного определения оставшихся зон риска и выдачи заключения о пригодности валопровода к эксплуатации.

Расчет крутильной схемы по методу дискретных масс. Одной из самых первых и популярных методик является табличный метод Хольцера, разработанный в 1922 г. Основой метода является равенство кинетической энергии инерционных масс и потенциальной энергии эластичных моментов при свободных крутильных колебаниях. В расчетах выбирается пробное значение угловой частоты, а затем для каждого заданного значения в таблицах последовательно вычисляется суммарный инерционный момент, накапливаемый при переходе от одной массы к другой. Собственная частота системы определяется как такая, при которой суммарный инерционный момент на последней массе становится равным нулю, что отражает баланс энергий в системе. Преимуществами данного метода можно считать наглядность и простоту, поскольку он не требует сложных вычислений и доступен для ручного анализа. Однако способ очень чувствителен к начальному значению угловой частоты и требует ее тщательного подбора, а также значительно усложняется по мере увеличения числа масс.

Следующим способом является авторский метод «цепных дробей», разработанный и опубликованный советским профессором В.П. Терских в 1930 г. Данная методика является основополагающей в отечественном судостроении и представляет собой способ описания системы через цепочку дробей, где каждая из них связывает реактивный момент и угловое смещение для конкретного элемента [4]. Эти структурные цепи объединяются в рекуррентную формулу, которая описывает полную динамику системы, включая ветвления и демпферы. Популярность методики в нашей стране обоснована строгим теоретическим подходом и относительной простотой проверки истинности решения.

Исследование модели численными методами. В последнее время для расчета крутильных колебаний довольно часто используется численные методы решения систем дифференциальных уравнений, как правило, на основе метода Рунге – Кутты, который относится к классу одношаговых и широко применяется благодаря балансу между точностью и вычислительной эффективностью. Алгоритм основан на последовательном вычислении промежуточных значений производных на каждом временном шаге, что позволяет уточнять приближенное значение за счет поэтапной оценки изменений состояния системы. Его основные преимущества заключаются в высокой точности аппроксимации, что особенно важно при моделировании динамических процессов с быстро меняющимися параметрами, а также простотой программной реализации в различных вычислительных средах, как пример – в MATLAB [5].

Основным недостатком численных расчетов в контексте исследования крутильных колебаний является необходимость корректной формулировки начальной задачи, т. к. неправильный выбор начальных условий оказывает значительное влияние на качество расчета, что особенно сильно проявляется в исследованиях стационарных режимов работы.

Расчет крутильных колебаний на основе системы с распределенными параметрами. Альтернативной методу дискретных масс является система с распределенными параметрами, которая до недавнего времени практически не использовалась в теории расчета крутильных колебаний судовых валопроводов, что обосновывается конструктивными особенностями валовой линии – многоступенчатостью, сопряжением участков с учетом эластичных и редуцирующих элементов, разветвлением схемы и т. п. В работе [6] рассмотрена методика построения модели валопровода на основе модели с распределенными параметрами.

Сущность метода заключается в том, что валовая линия представляется многоступенчатым стержнем, участки которого могут иметь как эластичное соединение, так и редуцирующие передачи. Для каждого участка составляется уравнение углов закручивания, которое представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных. Решение уравнения ищется методом Фурье. Модель на основе данного метода позволяет рассматривать различные ситуации динамического воздействия как на валопровод, так и на гребной винт.

Крутильные колебания судовых валопроводов способны серьезно сократить ресурс работы и снизить общую эффективность работы всей судовой энергетической установки, а при несвоевременном диагностировании и отсутствии превентивных мер могут приводить к полному разрушению валолинии и потере двигательных качеств судна.

Проведенный анализ методов расчета крутильных колебаний судовых валопроводов позволяет сделать следующие выводы:

- Традиционные методы на основе дискретных масс обладают наглядностью и простотой реализации, достаточно точно моделируют работу валопровода в резонансных режимах, но при этом весьма ограничены для моделирования прочих динамических эффектов.

- Численные алгоритмы, напротив, позволяют моделировать сложные взаимодействия и переходные процессы, однако требуют значительных вычислительных ресурсов и точных входных данных.

- Системы с распределенными параметрами позволяют моделировать практически любые динамические эффекты, однако в отличие от численных решений расчетные зависимости искомым величинам можно получить в аналитической форме.

В условиях санкций некоторые зарубежные представители отказываются предоставлять техническую поддержку эксплуатируемым судам и могут дистанционно блокировать доступ к ряду подсистем. В соответствии с этим возрастает необходимость разработки собственных судов с индивидуальными валопроводами, из чего вытекает очевидная необходимость совершенствования теории расчета и моделирования крутильных колебаний. Принимая во внимание всю совокупность сложившихся факторов, следует сделать вывод о том, что развитие теории расчета на основе систем с распределенными параметрами представляется наиболее перспективным направлением на данный момент.

Литература

1. II Всероссийский Морской конгресс // МедиаПалуба: Сайт. – URL: <https://paluba.media/news/178053> (дата обращения: 09.06.2025).

2. Мартынов В.В. Оценка угрозы возникновения резонансных колебаний на примере расчета крутильных колебаний судового валопровода пассажирского теплохода пр. Р118 // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2020. – С. 359–368.

3. Ефремов Л.В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий – СПб: Наука, 2007. – 276 с.

4. Терских В.П. Крутильные колебания валопроводов силовых установок – Том 1, 2, 3, 4. – Л.: Судостроение, 1970. – 205 с.

5. Исследования крутильных колебаний валопроводов турбоагрегатов / А.З. Зиле, Д.В. Тарадай, С.Б. Томашевский, Ю.А. Шуранова // Электрические станции. – 2013. – № 10. – С. 40–48.

6. Царенко С.Н., Горбачев М.М., Зайцев С.А. Исследование крутильных колебаний валопровода на основе модели многоступенчатого стержня // Судостроение. – 2025. – № 2(879). – С. 24–30. – EDN SOPQTL.

УДК 621.43

Р.А. Гараев, С.Н. Царенко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: yesproinpast@gmail.com*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЦИКЛА РАБОТЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ГАРМОНИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Статья посвящена исследованию влияния параметров теоретического цикла работы дизельного двигателя на амплитудные коэффициенты порядковых гармоник крутящего момента. Существующая методика теоретического построения индикаторных диаграмм работы дизельного двигателя базируется на ряде параметров, величина которых однозначно в литературе не установлена. На основании обзора литературных источников были установлены рекомендуемые диапазоны политроп расширения, сжатия и степени повышения давления. С использованием известных расчетных зависимостей было проведено моделирование момента. Установлено, что изменение варьируемых величин практически не оказывает влияние на амплитуды первых трех гармонических составляющих, для остальных случаев установлена близкая к линейной зависимость.

Ключевые слова: дизельный двигатель, валопровод, порядковые гармоники, показатели политроп, амплитуда, крутильные колебания.

R.A. Garaev, S.N. Tsarenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: yesproinpast@gmail.com*

ANALYSIS OF DIESEL ENGINE THEORETICAL CYCLE PARAMETERS INFLUENCE ON HARMONIC COMPONENTS OF THE TORQUE

The article is devoted to the study of the influence of the parameters of the theoretical cycle of a diesel engine on the amplitude coefficients of the ordinal harmonics of the torque. The existing methodology for the theoretical construction of indicator diagrams of diesel engine operation is based on a number of parameters, the value of which is not clearly established. Based on a review of literature sources, the recommended ranges of expansion, compression and pressure increase polytropes were established. Using known computational dependencies, the moment was modeled. It is established that the variation of the variable values has practically no effect on the amplitudes of the first three harmonic components, for the remaining cases a close to linear relationship has been established.

Key words: diesel engine, shaft line, harmonics, polytropic properties, amplitude, torsional vibrations.

Согласно статистике, массовая доля аварий и инцидентов на судах связана с нарушениями правил судовождения и неисправностью технических средств. Массовая доля происшествий во втором случае приходится именно на неполадки в работе машинно-двигательных комплексов, или же МДК. Наиболее известными прецедентами подобных случаев по праву можно назвать следующие:

– судно под названием «Emma Maersk» чуть не затонуло во время прохождения Суэцкого канала в 2013 г. из-за отказа двигателя, повлекшего значительный приток воды в машинное отделение через дейдвудное устройство и поврежденные уплотнения [1];

– авария с теплоходом «Эланд» на Ладожском озере в 2019 г. из-за разрушения гребного вала, вызванного усталостным износом его материала из-за несоблюдения выполнения технологий монтажа и последующей центровки судового валопровода [2];

– большое количество иных аварий, прямо связанных с усталостным разрушением валопровода на судах: «Aratere» [3], «ОТА-974» [4] и иных.

В большинстве случаев причиной аварий, связанных с валопроводом, являются разрушения, вызванные превышением допустимого диапазона крутильных колебаний. В связи с этим рекомендации по методикам расчета и контроля уровня крутильных колебаний строго устанавливаются правилами основных международных классификационных обществ, включая «Российский морской регистр судоходства» (РМРС), «Российское классификационное общество» (РКО), «Det Norske Veritas & Germanischer Lloyd» (DNV GL) «Lloyd's Register» (LR), «Bureau Veritas» (BV), и другими. Вопросы теоретического обоснования расчетов, методики измерений и контроля крутильных колебаний постоянно поднимаются на мировом симпозиуме по крутильным колебаниям [5].

Названная проблема требует технических решений, которые постоянно разрабатывает и модернизирует ряд передовых отечественных и иностранных специалистов. В качестве меры по решению данной проблемы рассматривается создание системы поточного мониторинга состояния элементов судовой энергетической установки, примерами которой по праву можно назвать систему «Torsional Vibration System», производимую лидером по решениям для контроля крутильных колебаний – фирмой «Geislinger» [6]. Преуспевают и российские специалисты, активно ведущие разработку прототипа системы на базе Астраханского государственного технического университета под руководством М.М. Горбачева, приведенной в работах [7, 8].

При разработке систем мониторинга разработчики в первую очередь фокусируются на аппаратной части сбора и последующей обработки информации, а данные, как правило, излагаются лишь в контексте неблагоприятных изменений контролируемых величин. Такая практика объясняется недостатком информации о динамических процессах в валовой линии. В последнее время особое развитие получила методика расчета крутильных колебаний судового валопровода на основе метода дискретных масс, позволяющая с высокой точностью выполнить модальный анализ и оценить напряженно-деформированное состояние элементов валопровода в резонансных режимах работы с применением приближенных методов расчета, подробно описанных в статьях [9–12].

Методы расчета крутильных колебаний судовых валопроводов базируются на аппроксимации диаграммы крутящих моментов частичной суммой ряда Фурье [12, 13]. Зависимость крутящего момента от угла поворота кривошипа определяется исходя из параметров рабочего цикла дизеля. Вместе с тем для построения индикаторной диаграммы необходимо использовать ряд характеристик дизеля, которые отсутствуют в технической документации на агрегат. К ним относятся: среднее значение политропы сжатия n_1 и расширения n_2 , степень повышения давления λ_p и степень предварительного расширения ρ . Соответственно, варьирование этих параметров способно приводить к значительному изменению формы импульса нагрузки.

Цель данной статьи заключается в исследовании зависимости амплитудных коэффициентов первых двенадцати порядковых гармоник дизеля от диапазона значений политропы сжатия, политропы расширения и степени повышения давления.

Для дальнейшего определения зависимости амплитуд гармоник от политропы сжатия n_1 , политропы расширения n_2 и степени повышения давления λ_p возьмем за основу теоретический цикл работы двигателя с воспламенением от сжатия согласно статье [14]. Функцию давления в виде зависимости от угла поворота кривошипа ψ для четырехтактного дизеля можно задать через известные аналитические выражения, предложенные А.И. Колчиным и В.П. Демидовым в 1980 г.:

$$p(\psi) = \begin{cases} p_a, & 0 \leq \psi \leq \psi_a; \\ p_a \left(\frac{V_a}{V_c + F_n s(\psi)} \right)^{n_1}, & \psi_a \leq \psi \leq \psi_c; \\ p_z, & \psi_z \leq \psi \leq \psi_{z'}; \\ p_z \left(\frac{V_{z'}}{V_c + F_n s(\psi)} \right)^{n_2}, & \psi_{z'} \leq \psi \leq \psi_b; \\ p'_a, & \psi_b \leq \psi \leq 4\pi, \end{cases} \quad (1)$$

где ψ_a – угол закрытия впускного клапана;

ψ_b – угол открытия выпускного клапана;

$\psi_c = \psi_z$ – угол окончания фазы сжатия (2л);

$\psi_{z'}$ – угол предварительного расширения;

V_a, V_c – максимальный и минимальный объем цилиндра соответственно, связаны следующими

зависимостями: $\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}$ – степень сжатия, $V_h = V_a - V_c$ – рабочий объем цилиндра; $V_{z'}$ – объем

в конце фазы предварительного расширения, $\rho = \frac{V_{z'}}{V_c}$ – степень предварительного расширения;

n_1, n_2 – показатели политроп сжатия и расширения;

F_n, F_n' – площадь поршня;

p_a, p_a' – давление при фазах впуска и выпуска, приблизительно можно принять равным атмосферному ($p_a = 0,1$ МПа);

$p_z = \lambda_p p_b, p_b$ – давление в конце фазы сжатия, λ_p – степень повышения давления;

$s(\psi)$ – ход поршня, определяется выражением по тем же известным аналитическим уравнениям Колчина и Демидова:

$$s(\psi) = R \left(1 - \cos \psi + \frac{1}{4} \lambda_{ш} (1 - \cos 2\psi) \right),$$

где R – радиус кривошипа,

$\lambda_{ш} = l_{ш} / R, l_{ш}$ – длина шатуна.

С учетом ранее приведенной зависимости (1) выражение для моментов представляется следующей формулой

$$T_k(\psi) = R \left((p(\psi) - p_a) F_n' - m_{ш} R \theta^2 (\cos \psi + \lambda_{ш} \cos 2\psi) \right) \cdot \left(\sin \psi + \frac{\cos \psi}{1 - \frac{\lambda_{ш}}{4} \sin^2 \psi} \right), \quad (2)$$

где $m_{ш}$ – массы поступательно движущихся тел, $m_{ш} = m_{п} + 0,275m_{ш}$, $m_{п}$ и $m_{ш}$ – масса поршня и шатуна соответственно.

Установить соотношение между степенью предварительного расширения и повышения давления возможно при помощи метода последовательных приближений с использованием следующей зависимости:

$$p_z = \frac{120 N_{дв} (\varepsilon - 1)}{n_u V_h n_{об} \left((\rho - 1) + \frac{\rho}{n_2 - 1} \left(1 - \left(\frac{\rho}{\varepsilon} \right)^{n_2 - 1} \right) - \frac{1}{\lambda_p (n_1 - 1)} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right)}, \quad (3)$$

где $N_{дв}$ – мощность двигателя,

$n_{об}$ – частота вращения.

Для определения параметров цикла в нестандартном режиме расчетная мощность находится по следующей формуле:

$$N = N_{ном} \left(\frac{n}{n_{ном}} \right)^m, \quad (4)$$

где $N_{ном}$, $n_{ном}$ обозначают соответственно номинальную мощность и частоту вращения дизеля, а m – показатель степени, определяемый эмпирически при проведении теплотехнических испытаний дизеля.

Степень повышения давления имеет линейную зависимость от подвода теплоты и на холодном ходу стремится к значению равному единице, что делает возможным использовать аппроксимацию для рабочих режимов λ_p :

$$\lambda_p = \lambda_{pном} - \frac{n - n_{min}}{n_{ном} - n_{min}} (\lambda_{ном} - 1), \quad (5)$$

где $\lambda_{ном}$ – степень повышения давления для номинального режима работы.

На основании приведенных формул можно аппроксимировать функцию моментов (2) в виде частичной суммы ряда Фурье:

$$T_k(\psi) = \frac{T_0}{2} + \sum_{j=1}^m T_j \cos\left(\frac{j\psi}{2} - u_j\right). \quad (6)$$

На практике подавляющую часть параметров, входящих в выражения (1) и (2), можно определить согласно технической документации на двигатель. Однако значение политропы и степени повышения давления зависит от условий протекания тепловых процессов в цилиндре и указывается в справочной литературе. Согласно литературе [15–17] значения принимаются: n_1 в диапазоне от 1,32 до 1,42; n_2 в значения от 1,15 до 1,30; λ_p берут в диапазоне от 1,1 до 1,7.

Для проведения расчетов возьмем четырехтактный шестицилиндровый рядный дизель Cummins QSM 11, подробные характеристики которого приведены в статье [14]. За начальные параметры примем значения, используемые при расчете крутильных колебаний в статье [13]: политропа сжатия $n_1 = 1,38$; политропа расширения $n_2 = 1,28$, степень повышения давления для номинального режима принимаем $\lambda_p = 1,6$.

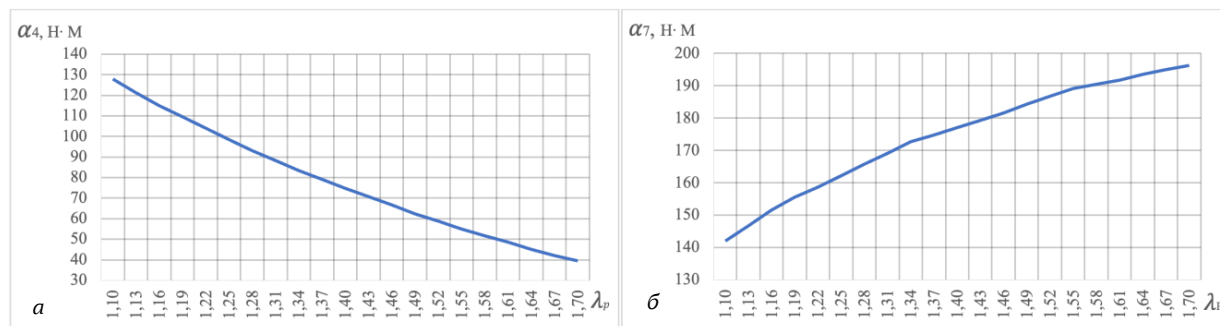
Экспериментальные расчеты зависимости амплитудных коэффициентов a_n проводились при следующих условиях. В первом случае варьировался показатель политропы сжатия n_1 в диапазоне от 1,32 до 1,42 с шагом 0,01 при неизменных значениях $n_2 = 1,28$ и $\lambda_p = 1,6$. Во втором случае изменялся показатель политропы расширения n_2 в интервале от 1,15 до 1,30 также с шагом 0,01 при фиксированных параметрах $n_1 = 1,38$ и $\lambda_p = 1,6$. В третьей серии расчетов варьировалась степень повышения давления λ_p в диапазоне от 1,10 до 1,70 с шагом 0,03 при сохранении постоянных значений политропы сжатия $n_1 = 1,38$ и политропы расширения $n_2 = 1,28$.

Результаты вычислительного эксперимента занесены в таблицу, в которой представлены коэффициенты аппроксимации функции моментов первыми двенадцатью членами ряда Фурье:

Значения амплитудных коэффициентов первых двенадцати порядковых гармоник

Параметры цикла	Значение порядковых гармоник, $\frac{a_j(x_{min})}{a_j(x_{max})}$, $x = n_1; n_2; \lambda_p$ – варьируемый параметр												
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
$n_1 = 1,32 \dots 1,42;$ $n_2 = 1,28;$ $\lambda_p = 1,6.$	$\frac{429,4}{431,6}$	$\frac{441,2}{446,6}$	$\frac{500,2}{511}$	$\frac{438,4}{456}$	$\frac{72,42}{39,61}$	$\frac{300,3}{327,6}$	$\frac{130,1}{130,3}$	$\frac{168,7}{205,6}$	$\frac{128,7}{205,6}$	$\frac{117,4}{153,4}$	$\frac{96,08}{127,3}$	$\frac{71,15}{96,64}$	$\frac{46,36}{67,07}$
Изменение, %	0,59	1,21	2,11	3,87	45,3	8,34	0,12	17,9	21,9	23,4	24,5	26,4	30,9
$n_1 = 1,38;$ $n_2 = 1,15 \dots 1,30;$ $\lambda_p = 1,6.$	$\frac{426,7}{431,6}$	$\frac{440,4}{445,43}$	$\frac{501,9}{507,6}$	$\frac{440,8}{450,3}$	$\frac{58,88}{48,61}$	$\frac{300,3}{319,4}$	$\frac{113,2}{130,6}$	$\frac{176,4}{193,7}$	$\frac{141,0}{152,6}$	$\frac{134,8}{140,5}$	$\frac{112,4}{115,8}$	$\frac{83,99}{87,14}$	$\frac{55,56}{59,02}$
Изменение, %	1,07	1,05	1,05	1,99	20,3	5,62	12,5	8,42	7,15	3,86	2,80	3,43	5,53
$n_1 = 1,38;$ $n_2 = 1,28;$ $\lambda_p = 1,10 \dots 1,70.$	$\frac{423,4}{430,9}$	$\frac{441,2}{444,2}$	$\frac{511,4}{502,2}$	$\frac{451,7}{447,6}$	$\frac{127,9}{39,39}$	$\frac{299,3}{317,9}$	$\frac{154,7}{125,2}$	$\frac{142,1}{196,2}$	$\frac{97,76}{156,6}$	$\frac{82,95}{145,6}$	$\frac{62,99}{120,9}$	$\frac{41,47}{91,82}$	$\frac{25,27}{63,40}$
Изменение, %	1,72	0,67	1,24	0,92	69,2	5,84	22,8	27,6	37,5	43,0	47,9	54,8	60,2

На рисунке представлены примеры графиков изменения амплитудных коэффициентов в зависимости от степени повышения давления λ_p , соответственно: рис., а – для амплитудного коэффициента седьмой гармоники (порядок колебаний $\nu = 3,5$); рис., б – для четвертой.



Графики изменения амплитудных коэффициентов в зависимости от степени повышения давления: а – для седьмой гармоники; б – для четвертой гармоники

По результатам анализа установлено, что при изменении политропных показателей и степени повышения давления для большинства значений амплитудных коэффициентов фиксируется практически линейная зависимость от варьируемой величины. В целом можно отметить, что первые три гармоники демонстрируют минимальную чувствительность к изменению параметров (изменения не превысили 4%). В большинстве случаев наблюдается рост величины, исключение составляет четвертая гармоника, убывающая для всех варьируемых параметров. Кроме того, в результате моделирования было выявлено, что наибольшее влияние варьируемые параметры оказали на четвертую и седьмую гармоники. Из всех рассматриваемых параметров цикла работы двигателя наиболее существенное воздействие на высшие гармоники оказала степень повышения давления.

Литература

1. *Emma Maersk Flooding of engine room on 1 February 2013*. Marine Accident Report, The Danish Maritime Accident Investigation Board, 2013. – 58 p.
2. *Гурин С.Н., Матвеев Ю.И.* Анализ поломки гребного вала теплохода «ЭЛАНД» // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 71 (2). – С. 15–27.
3. The Transport Accident Investigation Commission, DEV Aratere, fracture of starboard propeller shaft resulting in loss of starboard propeller, № MO-2013-203, 2016. – 61 p.
4. Одиннадцатый арбитражный апелляционный суд. Постановление от 12 августа 2010 года. Дело № А65-7528/2009. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sudrf.cntd.ru/document/677247632?ysclid=lp4cz7vf1z369360736> (дата обращения: 29.09.2025).
5. Torsional Vibration Simposium [Электронный ресурс]. – URL: <https://torsional-vibration-symposium.com/>
6. Geislinger Monitoring System MK6 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.geislinger.com/en/products/product/geislinger-monitoring-mk6> (дата обращения: 30.09.2025).
7. *Горбачев М.М., Покусаев М.Н.* Результаты испытаний прототипа системы мониторинга крутильных колебаний на судне «Иван Поддубный» // Наука и практика: Материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции. – 2022. – Астрахань. – С. 271–274.
8. Разработка прототипа системы мониторинга крутильных колебаний главных энергетических установок судов: Окончательный отчет о НИР / *Горбачев М.М., Сибряев К.О.* Регистрационный номер № 121021500264-6. – Астрахань: ООО «МИТ», 2022. – 97 с.
9. *Терских В.П.* Расчеты крутильных колебаний силовых установок: в 2 т. – М.: Машгиз, 1953. – Т. 1. – 260 с.
10. Study of the optimization of matching between torsional vibration damper and elastic coupling based on energy method / *Xiaodong Tan, Lin Hua, Chihua Lu, Can Yang, Yongliang Wang* // Journal of Vibroengineering. – Mar 2017. – Vol. 19, Issue 2. – DOI: <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17135>.

11. *Batrak Yu.A.* Torsional vibration calculation issues with propulsion systems // Shaft Designer [Электронный ресурс]. – URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:46726236> (дата обращения 20.09.2022).

12. *Ефремов Л.В.* Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. – СПб.: Наука, 2007. – 276 с.

13. *Царенко С.Н., Роменский Д.И., Корж А.С.* Исследование резонансных явлений крутильных колебаний валопроводов гребных винтов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2024. – № 67. – С. 8–20. – DOI: 10.17217/2079-0333-2024-67-8-20.

14. *Царенко С.Н., Горбачев М.М., Зайцев С.А.* Исследование крутильных колебаний валопровода на основе модели многоступенчатого стержня // Судостроение. – 2025. – № 2(879). – С. 24–30. – EDN WCEKKA.

15. *Ваншейдт В.А.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. – Л.: Судостроение. – 1977. – 392 с.

16. *Самсонов В.И., Худов Н.И.* Двигатели внутреннего сгорания морских судов. – М.: Транспорт, 1990. – 368 с.

16. *Возницкий И.В., Михеев Е.Г.* Судовые дизели и их эксплуатация. – М.: Транспорт, 1990. – 360 с.

УДК 629.5.083.5

И.А. Григорьев, В.В. Кашина

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, 603050
e-mail: grigoryev-i.a@yandex.ru*

ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА СУДОВ НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Развитие скоростного флота, представленного главным образом судами на подводных крыльях, имеет большое значение в условиях необходимости обеспечения интенсификации пассажирских перевозок и развития водного туризма. Поддержание флота в надлежащем техническом состоянии и восстановление его до требуемых параметров является важнейшим этапом его технической эксплуатации. В связи с этим в статье рассмотрены основные конструктивные особенности судов на подводных крыльях, обуславливающие необходимость применения специализированных технологий при их ремонте и обслуживании. Выполнен обзор основных особенностей и проблем, связанных с ремонтом отдельных элементов судна. Так, решения требуют вопросы, связанные с подъемом таких судов из воды, ремонтом корпусных конструкций и крыльевого устройства, а также вопросы, связанные с ремонтом механизмов, в том числе в условиях необходимости импортозамещения.

Ключевые слова: суда на подводных крыльях, ремонт, обслуживание, судоподъем.

I.A. Grigoriev, V.V. Kashina

*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, 603050
e-mail: grigoryev-i.a@yandex.ru*

FEATURES OF HYDROFOIL REPAIR IN MODERN CONDITIONS

The development of a high-speed fleet, represented mainly by hydrofoils, is of great importance in the context of the need to ensure the intensification of passenger transportation and the development of water tourism. Maintaining the fleet in proper technical condition and restoring it to the required parameters is the most important stage of its technical operation. In this regard, the main design features of hydrofoil vessels, necessitating the use of specialized technologies for their repair and maintenance are presented. The review of the main features and problems related to the repair of individual elements of the vessel is carried out. Thus, issues related to the lifting of such vessels from the water, the repair of hull structures and wing arrangements, as well as issues related to the repair of mechanisms, including in the context of the need for import substitution, require solutions.

Key words: hydrofoils, repair, maintenance, ship lifting.

Начиная с начала XXI в. суда на подводных крыльях начали вновь получать широкое применение на внутренних водных путях, главным образом в целях перевозки пассажиров [1, 2]. Данный процесс представляет большое значение ввиду актуальности развития водного туризма в Российской Федерации, а также интенсификации пассажирских перевозок внутренним водным и морским транспортом.

В целом суда на подводных крыльях (далее – СПК) – это особый тип скоростных судов, отличающийся от водоизмещающего пассажирского флота наличием специальных крыльев под корпусом, создающие гидродинамическую силу, которая поднимает корпус судна над поверхностью воды при достижении определенной скорости судна.

Основной особенностью СПК является способность осуществлять движение в режиме глиссирования благодаря своему строению, тем самым снижая сопротивление воды и силу трения, позволяя развивать скорость около 60 км/ч.

Конструкция СПК характеризуется рядом особенностей, отличающих их от водоизмещающего флота и обуславливающих необходимость применения адаптированных методов ремонта и облуживания.

Конструктивные особенности корпуса, силовых энергетических установок и крыльевых систем. На СПК устанавливаются автоматика для управления положением крыльев и силовые энергетические установки (далее – СЭУ) с высокой удельной мощностью, а именно судовые дизельные двигатели внутреннего сгорания (далее – ДВС) высокой мощности для возможности поднятия судна над поверхностью воды.

Корпус СПК преимущественно изготавливается из алюминиевых сплавов (Al-Mg) для облегчения всей конструкции. Данный вариант материалов позволяет существенно уменьшить массу расчетного судна на 30–40% по сравнению со сталью. Сочетание облегченного корпуса и мощных СЭУ и создает возможность реализации подъема судна над поверхностью воды.

По принципу работы подводные крылья можно сравнить с работой авиационных крыльев. В истории судостроения существует три вида расположения крыльев:

- «тандем» – равномерное распределение нагрузки между носовыми и кормовыми крыльями;
- «самолетная» – большее крыло расположено выше центра тяжести (между миделем и носовой частью), а меньшее крыло в кормовой части;
- «утка» – большее крыло расположено ниже центра тяжести (между миделем и кормовой частью), а меньшее крыло в носовой части.

«Тандем» применяется на судах со сравнительно большой пассажировместимостью, а «самолет» и «утка» предназначены для малых судов, где большую часть нагрузки принимает главное крыло, а другое служит стабилизатором.

Для изготовления крыльев используют нержавеющую высокопрочную сталь и требуют высокой точности геометрии: отклонение размаха не должно превышать 5 мм, а угол установки – 6 угловых минут. Повышенные требования к точности обеспечения геометрии конструкций накладывает ограничения на технологию их изготовления, а также ремонта [1].

Отличия от водоизмещающих судов. СПК от традиционных водоизмещающих судов отличаются принципиальной спецификой изготовления, эксплуатации и ремонта. Облегченная конструкция Al-Mg-корпуса требует специфической технологии сварки, исключающая перегрев сплава с сохранением его свойств. Крылья подвергаются постоянным интенсивным нагрузкам, что приводит к «усталости» сплава. Для достижения необходимых результатов эксплуатации СПК требуются прецизионная центровка, балансировка двигателей и трансмиссий с наклонными валопроводами. Компонировка оборудования и механизмов затрудняет доступ к узлам ввиду высокой плотности.

Проблемы судоподъема. В случае появления необходимости осуществления подъема СПК из воды (слипания, докования) перед судовладельцем и судоремонтным предприятием возникает техническая проблема, связанная с наличием выступающих крыльев, сложной формы корпуса и чувствительности Al-Mg сплава к местным нагрузкам. Таким образом, становится необходимой проработка вопросов, связанных с подбором технологии подъема судна, а применение стандартных судоподъемных механизмов, используемых для водоизмещающих судов, практически не представляется возможным.

Для подъема СПК и постановки их для ремонта требуются специально адаптированные под каждый проект судна кильблоки, тумбы и иное технологическое оснащение, применяемое на стапелях или в плавучих доках, а также на береговых площадках, приспособленных для ремонта флота, которое сможет обеспечить равномерное распределение нагрузки по всему корпусу и предотвратит появление местных остаточных деформаций. Однако в текущих реалиях судовладельцы для подъема многих СПК применяют автокраны от 50 до 100 тонн, поскольку в Российской Федерации практически отсутствуют адаптированные для СПК судоподъемные устройства. Вопрос разработки специализированных судоподъемных устройств также остается открытым. При этом особую сложность представляет подъем судов с глубокопогруженными крыльями, поскольку стойки таких судов могут выступать на глубину до 2,5 метра ниже киля.

Ремонт механизмов и движительно-рулевого комплекса. Ремонт механических систем также сопровождается сложностями, поскольку ДВС работают на форсированных режимах (примерно 2 000 об/мин), что приводит к повышенному износу всех комплектующих. Важно обра-

щать внимание на плотную компоновку механизмов в машинном отделении, в связи с чем для замены двигателя необходимо демонтировать значительные части надстройки и оборудование.

Валопродовы на данных судах имеют наклон до 20 градусов для оптимального расположения гребных винтов относительно крыльев. Для проведения центровки требуются специальные приспособления и высококвалифицированные специалисты. Нарушение центровки приводит к повышенному износу подшипников, излишним вибрациям и возможному повреждению редукторов.

Гребные винты представляют собой суперкавитирующие или полускавитирующие профили лопастей для работы с частичным выходом из воды. Ремонт таких винтов также требует высокой квалификации специалистов и специального оборудования для выправки лопастей и проверки гидродинамических характеристик, поскольку даже малейшие повреждения приводят к потере эффективности.

Ремонт корпуса. Ремонт корпуса СПК также сопряжен с рядом трудностей и требует применения специальной технологии обработки Al-Mg сплавов. Сварка подобных материалов осложняется тугоплавкой оксидной пленкой, температура плавления которой около 2 050°C, при 660°C плавления самого алюминия.

Для обеспечения высокого качества швов корпусной конструкции применяется ручная аргодуговая варка неплавящимся электродом на переменном токе. Для более толстых элементов применяется механизированная импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом [3].

Современной технологией является сварка трением с перемешиванием, при которой соединение деталей происходит без плавления сплава при температуре до 500°C. Перспективность данного вида сварки заключается в отсутствии трещин и обеспечении высокого порога «усталости» соединений [4].

Важной особенностью ремонта корпусов СПК является необходимость гибких заменяемых элементов корпусных конструкций, обусловленных лекальными обводами по всей длине корпуса.

Ремонт крыльевых устройств. Технология ремонта крыльевых устройств включает в себя удаление поврежденных участков, сварку высокопрочных сталей, термическую обработку для снятия напряжений, механическую обработку для восстановления профиля крыльев и нанесение защитного покрытия. Геометрия крыльев не позволяет превышать отклонение профиля более чем на 2 мм, а угол установки не должен превышать 6 угловых минут, так как любое отклонение выше приведет к неравномерному распределению нагрузки и потере устойчивости судна.

Главной сложностью можно назвать проблемный доступ к крыльям, поскольку даже для простого визуального осмотра требуется полный подъем судна из воды или проведение водолазного обследования. Ввиду постоянного нахождения крыльев под поверхностью воды они подвергаются биологическому обрастанию, требующему очистки с применением водолазных работ, что значительно увеличивает расходы в эксплуатационный период.

Дефицит комплектующих. Одной из важнейших проблем не только изготовления, но и ремонта СПК является массовый дефицит запасных частей. Многие комплектующие уже не производятся серийно, поскольку серийное производство большинства типов СПК прекращено в прошлом столетии.

Особенной проблемой является отсутствие ДВС, отвечающих требуемым характеристикам. Советские дизельные ДВС М-400, М-401 и М-417 (завода «Звезда»), давно сняты с производства. До начала специальной военной операции в феврале 2022 г. на СПК устанавливались импортные ДВС производства MAN, MTU и Caterpillar, которые полностью отвечают необходимым требованиям и зарекомендовали себя только с положительной стороны, однако санкции по отношению к Российской Федерации усугубили ситуацию и на момент написания данной статьи в СПК устанавливают ДВС китайского производства, которые «на бумаге» способны поддерживать требуемый режим работы и обладают достаточной удельной мощностью. Однако, в большинстве случаев данные ДВС не выдерживают нагрузки и выходят из строя.

Многие судовладельцы выходят из ситуации путем доставки «параллельным импортом» импортных ДВС, но здесь проблема заключается в сложной логистике, поскольку поставки проходят не напрямую «продавец – покупатель», а через посредников, что увеличивает итоговую стоимость и срок поставки.

Предприятия, занимающиеся изготовлением и ремонтом СПК. Строительством и ремонтом СПК в России занимаются предприятия, имеющие необходимые производственные мощности и квалифицированный персонал. В Нижегородской области организацией, осуществляющей

строительство судов, судоремонт и модернизацию судов, является АО «ЦКБ по СПК имени Р.Е. Алексеева», в Республике Татарстан – АО «Зеленодольский завод имени А.М. Горького».

Компания в Санкт-Петербурге «Морская Техника» с 2010 г. участвует в программе по модернизации скоростного флота Российской Федерации. Компания занимается заменой дизель-редукторных агрегатов на современные двигатели, установкой новых гребных валов, винтов, насосов и модернизацией салонов [5].

Пути решения проблемных вопросов. Для решения вопросов по осуществлению подъема СПК из воды требуется реализовать разработку унифицированного судоподъемного устройства, которое обеспечит безопасный и финансово выгодный способ докования, без необходимости привлечения сторонней техники и организаций, а также без повреждения корпусов и крыльев.

Кингисеппский машиностроительный завод с 2024 г. работает над созданием гибридной электрической установки для СПК с государственной поддержкой от Минпромторга РФ. Пока рано говорить о будущей надежности данных агрегатов, но создание отечественной СЭУ для СПК может исключить дефицит ДВС из проблем, связанных с судоремонтом.

Решения вопроса по дефициту запасных частей можно достичь путем изготовления на мощностях судоремонтной организации малосерийного и штучного изготовления деталей с использованием «reverse engineering» импортных деталей.

По поручению Президента РФ В.В. Путина с 2023 г. реализуется проект строительства пассажирских судов с передачей их операторам в лизинг под 2,93% годовых на срок до 25 лет. В 2025 г. на программу выделено 5 млрд руб. на строительство не менее 33 пассажирских судов. В бюджет до 2028 г. заложено 43,6 млрд руб. на продолжение программы. Субсидирование судоремонта тоже предусмотрено программой [6].

Из-за технологической сложности производства судов типа СПК автоматизация процесса сварки, применение композитных материалов (углепластик, стеклопластик) перспективны для изготовления как элементов корпуса, так и крыльев в виду высокой удельной прочности, невосприимчивости к коррозии и возможности изготовления деталей сложной формы.

Строительство, судоремонт, судоподъем и модернизация СПК представляет собой сложный и трудозатратный процесс, требующий специального оборудования и высококвалифицированного персонала. Все сложности связаны со специфическим строением корпуса и применяемыми материалами в СПК, а также большим дефицитом запасных частей и устройств.

Прогресс в сторону импортозамещения деталей на отечественные аналоги, создание унифицированного устройства для подъема СПК, которое возможно реализовать на производственных мощностях судостроительных организаций, и поддержка государства в связи с растущим интересом граждан к туризму на внутренних водных путях и в морских районах, позволят организовать ныне запущенную нишу скоростных пассажирских перевозок.

Литература

1. Грибов В.К., Федорев Г.А. Скоростные суда на крыльях для Дальневосточного бассейна (обзор) // Вестник инженерной школы ДВФУ. – №1 (30). – 2017. – С. 98–115.
2. Возвращение подводного крыла. – URL: <https://topwar.ru/270848-vozvrashchenie-podvodnogo-kryla.html> (дата обращения: 24.10.2025).
3. Сварка деформируемых алюминиевых сплавов. CRISM-Prometey.ru, 2024. – URL: <https://www.crism-prometey.ru/science-and-education/research-and-development/konsultatsionnye-uslugi/svarka-deformiruemykh-alyuminievykh-splavov/> (дата обращения: 24.10.2025).
4. Сварка трением с перемешиванием – что это такое? Top-Weld.com, 2024. – URL: <https://www.top-weld.com/blog/cut/svarka-treniem-s-peremeshivaniem-chto-eto-takoe/> (дата обращения: 24.10.2025).
5. Модернизация скоростного флота России. Морская техника, 2022. – URL: <https://marinetec.com/en/novosti-kontent-anglijskij-yazyk/strong-sostoyalas-konferentsiya-po-problemam-ekspluatatsii-spk-strong/> (дата обращения: 24.10.2025).
6. Государственная программа льготного лизинга речных и морских судов. GPBL.ru. – URL: <https://gpbl.ru/state-programs/gosprogramma-lizing-rechnykh-i-morskikh-sudov/> (дата обращения: 24.10.2025).

УДК 378.01

Е.А. Гуляева, О.А. Мартынов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: elizaveta.ivaxnenko@mail.ru; martynov-stuurman@mail.ru*

ПРОБЛЕМЫ НАБОРА ОБУЧАЮЩИХСЯ В ГРУППУ «СУДОВОЖДЕНИЕ» ФГБОУ ВО «КАМЧАТГТУ»

В статье приведены причины оттока кандидатов на морские специальности на примере 26.05.05 «Судовождение». Рассмотрены демографические тенденции, особенности системы образования и подготовки кадров, а также возможные перспективы и пути решения кадровых проблем в сфере морского транспорта региона.

Ключевые слова: развитие морского судоходства, пропаганда отрасли, материально-техническая база, кадетские классы, рост количества и качества поступающих, подготовка судоводителей, демографические факторы, образовательные факторы, институциональные факторы, кадровый голод, нехватка преподавательских кадров.

E.A. Gulyaeva, O.A. Martynov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: elizaveta.ivaxnenko@mail.ru; martynov-stuurman@mail.ru*

PROBLEMS OF GROUP “NAVIGATION” STUDENT RECRUITING IN KAMCHATGTU

The reasons for the outflow of candidates for maritime specialties using the example of speciality 26.05.05 “Navigation” are enumerated. The demographic trends, the specifics of the education and training system and potential prospects and solutions to solve staff issues in the regional maritime transport sector are considered.

Key words: development of maritime shipping, industry promotion, material and technical base, cadet classes, growth in the number and quality of applicants, training of navigators, demographic factors, educational factors, institutional factors, personnel shortage, shortage of teaching staff.

Флот региона – ключевой элемент транспортной и экономической системы Камчатского края и Дальнего Востока в целом. Однако на протяжении последних лет наблюдается системный кадровый голод, обусловленный совокупностью демографических, образовательных и институциональных факторов. В ведущем вузе края вследствие снижения количественного набора на морские специальности за последние 30–40 лет устаревшая материально-техническая база была списана, а современные средства обучения и лабораторное оборудование закуплено под наполненность сегодняшних групп. Недостаточный подготовительный потенциал и нехватка современных учебных ресурсов ставят под угрозу развитие морского судоходства. В статье проведен анализ причин данной ситуации и предложены возможные меры по ее преодолению.

Рассмотрим численность обучающихся в организациях, осуществляющих образовательную деятельность по образовательным программам начального, основного и среднего общего образования по данным из Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [1] (рисунок, таблица).

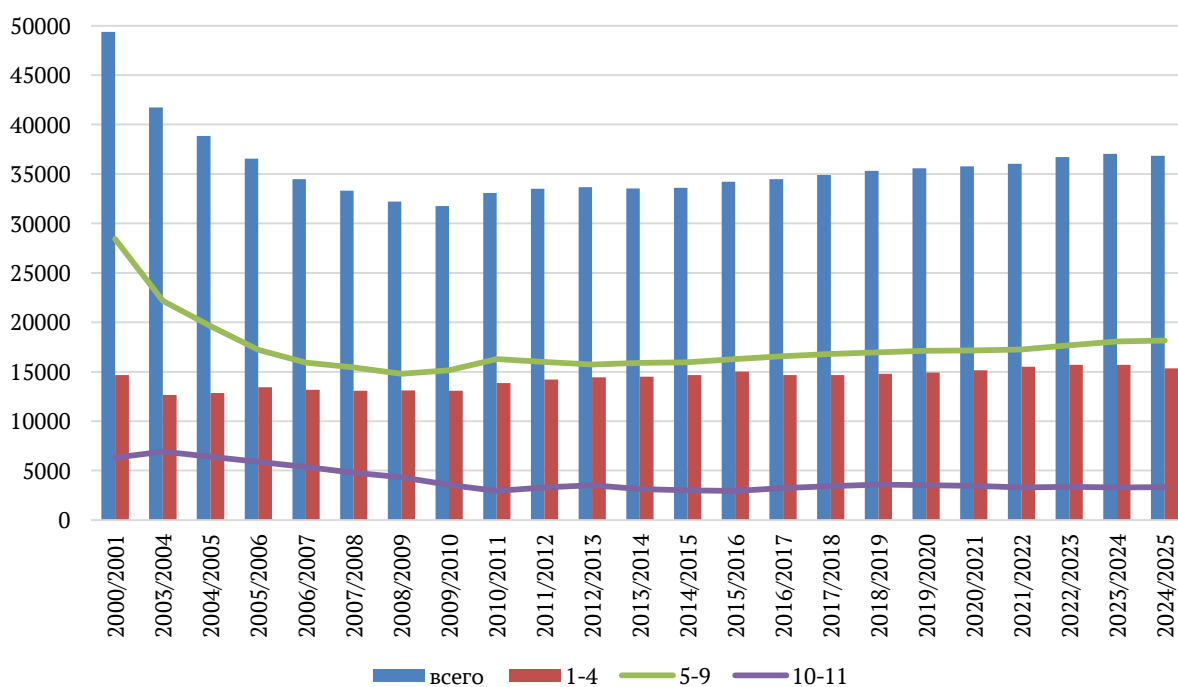
Анализируя таблицу и диаграмму, видим, что за последние 15 лет доля выпускников 11-х классов значительно снижается, однако появилась уверенная тенденция роста обучающихся по образовательным программам начального и основного общего образования.

Причиной ухудшения демографической ситуации на Камчатке и в стране в целом является спад, связанный со снижением уровня жизни, начавшийся в середине 1990-х годов и продол-

жавшийся до 2010 г. В ответ на эти процессы государственные меры позволили остановить снижение уровня рождаемости, даже появилась тенденция к его росту. Это способствует увеличению численности дошкольников и младших школьников, что в перспективе должно было привести к росту контингента. В результате увеличился выпуск учащихся 9-х классов, однако количество выпускников 11-х классов существенно не растет. Одной из причин этого является предпочтение учащихся продолжать обучение в колледжах с возможностью последующего поступления в высшие учебные заведения страны. Значительную роль в этом играет страх получения недостаточного количества баллов при сдаче Единого государственного экзамена, что косвенно свидетельствует об объективности и независимости результатов данного экзамена.

Численность обучающихся по образовательным программам начального, основного и среднего общего образования

Классы	Учебный год							
	2000/2001	2001/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009
Численность обучающихся								
всего	49 366	нет официаль- ных дан- ных	41 721	38 836	36 536	34 464	33 301	32 196
1-4	14 664		12 642	12 834	13 445	13 174	13 081	13 095
5-9	28 410		22 169	19 601	17 206	15 933	15 423	14 776
10-11	6 292		6 910	6 401	5 885	5 357	4 797	4 325
Учебный год								
Численность обучающихся								
всего	31 760	33 088	33 491	33 683	33 524	33 601	34 233	34 480
1-4	13 065	13 866	14 212	14 430	14 495	14 646	15 013	14 671
5-9	15 137	16 293	15 996	15 717	15 893	15 963	16 271	16 567
10-11	3 558	2 929	3 283	3 536	3 136	2 992	2 949	3 242
Учебный год								
Численность обучающихся								
всего	34 890	35 321	35 566	35 774	36 027	36 721	37 044	36 845
1-4	14 672	14 774	14 918	15 140	15 490	15 695	15 684	15 331
5-9	16 806	16 971	17 120	17 169	17 249	17 668	18 058	18 173
10-11	3 412	3 576	3 528	3 465	3 288	3 358	3 302	3 341



Численность обучающихся по образовательным программам начального, основного и среднего общего образования

По данным, опубликованным в издании «Известия» от 05.03.2023 со ссылкой на исследование «Общероссийского Народного Фронта», в Российской Федерации наблюдается острая нехватка преподавательских кадров по математике и физике, порядка 40% образовательных учреждений испытывают дефицит педагогов указанных предметов [2]. При этом низкий уровень окладов не способствует решению данной проблемы, напротив, он способствует набору недостаточно подготовленных педагогов и высоким педагогическим нагрузкам. Такой подход в свою очередь приводит к нехватке времени у педагога, отведенного на качественную подготовку к занятиям и как следствие к снижению уровня подготовки обучающихся. Совокупность этих факторов подводит к снижению мотивации учащихся в выборе профильной математики и физики в рамках Единого государственного экзамена, а для поступления на специальность «Судовождение» они обязательны.

Решение проблемы нехватки кадров в сфере образования в значительной степени является сложной задачей и возложено на Министерство образования. В качестве мер, направленных на ее устранение, предусматривается проведение системной реформы образования в целом, совершенствование системы оплаты труда педагогических работников, решение жилищных вопросов для молодых специалистов, а также внедрение единой государственной системы приема в высшие учебные заведения (ЕГЭ). В то же время оказание поддержки учебными заведениями других ведомств, таких как Федеральное агентство по рыболовству, представляется невозможным в контексте решения кадровых проблем школьного образования.

Таким образом, единственным эффективным способом повышения качества подготовки школьников является создание кадетских классов при университете. Такая мера должна способствовать увеличению числа выпускников 11-х классов и, в частности, росту доли учащихся, успешно сдающих профильную математику и физику.

В сложные 1990-е годы наблюдался активный процесс формирования профессиональных стереотипов, в рамках которого такие профессии, как юрист, менеджер, актер, певец и аналогичные им, получили широкую популярность и воспринимались как социально престижные. В то же время технические специальности подвергались стигматизации и воспринимались как менее привлекательные и заурядные. Этот процесс активно поддерживался посредством массовой популяризации через кинофильмы, литературные источники и медийные компании. В настоящее время направление информационной и культурной пропаганды изменилось, однако структура профессиональных предпочтений молодежи остается во многом неизменной, при этом продолжая воспроизводить стереотипы, устоявшиеся в предыдущие десятилетия, особенно в отношении приоритета гуманитарных, управленческих и юридических специальностей.

Для решения данной проблемы следует перераспределить количество бюджетных мест с «модных» специальностей на технические. Кроме того, необходимо активизировать популяризацию рыбопромысловой отрасли на уровне Камчатского края. В рамках этого целесообразно проводить экскурсии в музеи, такие как музей Океанрыбфлота; организовывать экскурсии на суда, увеличить число мастер-классов в профильных организациях и учебных заведениях; создавать учебные фильмы, освещающие особенности и перспективы отрасли. Частично эти меры уже реализуют крупные рыбодобывающие компании в связи со значительной кадровой проблемой, что подтверждается высоким количеством вакантных должностей среди соискателей.

На сегодняшний день, несмотря на существующие обучающие программы, наличие недостаточного количества судоводителей ставит под угрозу развитие региона. Согласно данным кафедры «Судовождение» ФГБОУ ВО «КамчатГТУ», все инженеры-судоводители, завершившие обучение, были незамедлительно приглашены на работу, зачастую уже в период обучения или сразу после него. Это свидетельствует о хорошей подготовке квалифицированных специалистов. Однако такая подготовка рассчитана на малочисленные группы. В перспективе при росте числа абитуриентов вуз столкнется с нехваткой профессорско-преподавательского состава и материально-технической базы. Поэтому одной из приоритетных задач для университета становится создание дополнительной современной лабораторной базы и обеспечение достаточного количества и квалифицированного состава преподавателей для удовлетворения спроса на подготовку специалистов в данной области.

В целом состояние транспортной и образовательной инфраструктуры региона, в частности сфер морского судоходства и подготовки кадров, сталкивается с существенными вызовами, обу-

словленными демографическими, образовательными и институциональными факторами. Общее снижение численности учащихся и кадровых ресурсов, а также устаревание материально-технической базы ставят под угрозу дальнейшее развитие морского флота и связанных с ним отраслей. Для решения этих проблем необходимо комплексное реформирование системы образования, включая создание кадетских классов и повышение привлекательности технических специальностей через активную популяризацию рыбопромысловой отрасли, экскурсионные и образовательные мероприятия, а также модернизацию материально-технической базы высшего учебного заведения. Кроме того, важным шагом является перераспределение бюджетных мест в сторону технических специальностей, что поможет подготовить квалифицированных специалистов, отвечающих потребностям региона. В то же время решение кадровых проблем в области судовождения требует поддержки со стороны профильных отраслевых ведомств и инвестиций в создание современных лабораторных баз и повышение квалификации педагогических кадров. Реализация данных мер является залогом устойчивого развития региона и обеспечения его конкурентоспособности на перспективу.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Демографическая статистика регионов России.
2. В российских школах выявили нехватку математиков и физиков // Известия: Газета. – 05.03.2023.

УДК 502.51 (265.5)

Л.Н. Зуева

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: ludmilazueva1969@gmail.com*

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРИБРЕЖНЫЕ ВОДЫ АВАЧИНСКОЙ БУХТЫ

В статье рассмотрен комплекс мероприятий по снижению антропогенной нагрузки на акваторию Авачинской бухты от сточных вод г. Петропавловска-Камчатского. Проведен анализ современных методов очистки сточных вод и конструктивных решений выпусков. Детально проанализированы технические решения, предусмотренные Инвестиционной программой МУП «Петропавловский водоканал». Показано, что ключевыми задачами являются реконструкция КОС «Чавыча», строительство новых модульных очистных сооружений в Центральной части города, ликвидация фрагментарности системы водоотведения. Особое внимание уделено расчету экологического и экономического эффекта от предлагаемых мероприятий. Доказана экономическая целесообразность и высокая экологическая эффективность предлагаемых решений, которые позволят снизить объем неочищенных стоков с 46,5 тыс. м³/сут до 1,2 тыс. м³/сут и уменьшить интегральное негативное воздействие на 70,7%.

Ключевые слова: очистка сточных вод, канализационные насосные станции, реконструкция, экологический эффект, инвестиционная программа, водоохранные мероприятия, экономическая эффективность.

L.N. Zueva

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: ludmilazueva1969@gmail.com*

MEASURES TO REDUCE NEGATIVE IMPACT OF WASTEWATER ON COASTAL WATERS OF THE AVACHA BAY

A set of measures to reduce the anthropogenic load on the water area of the Avacha Bay from Petropavlovsk-Kamchatsky wastewaters are considered. The analysis of modern methods of wastewater treatment and structural solutions for outlets was carried out. The technical solutions provided for by the Investment Program of MUE "Petropavlovsky Vodokanal" are analyzed in detail. It is shown that the key tasks are the reconstruction of STP "Chavycha", the construction of new modular treatment facilities in the central part of the city and the elimination of the fragmentation of the wastewater system. Special attention is paid to the calculation of the environmental and economic effects of the proposed measures. The economic feasibility and high environmental efficiency of the proposed solutions were proven. It will reduce the volume of untreated wastewater from 46.5 thousand m³/day to 1.2 thousand m³/day and reduce the integral negative impact by 70.7%.

Key words: wastewater treatment, sewer pumping stations, reconstruction, environmental effect, investment program, water protection measures, economic efficiency.

Критическое состояние системы водоотведения г. Петропавловска-Камчатского и высокий уровень загрязнения Авачинской бухты требуют незамедлительного внедрения комплекса водоохранных мероприятий. Существующие очистные сооружения не обеспечивают необходимой степени очистки, а значительная часть стоков сбрасывается без очистки. Согласно данным мониторинга, только 36,8% от общего объема сточных вод в 2014 г. подверглось очистке, при этом до установленных нормативов очищалось лишь 83,4% от этого объема. В связи с этим разработка и реализация эффективных мер, направленных на минимизацию сброса загрязняющих веществ, является актуальной научно-практической задачей. Целью работы является систематизация и анализ планируемых мероприятий по снижению негативного воздействия

сточных вод на прибрежные воды бухты, оценка их ожидаемой экологической и экономической эффективности [1].

В основе исследования лежит анализ проектных решений, представленных в Инвестиционной программе МУП «Петропавловский водоканал», а также обзор современных методов очистки сточных вод и конструкций выпусков. Для оценки эффективности использованы данные расчетов снижения концентраций загрязняющих веществ и объемов неочищенных стоков. Применены методы сравнительного анализа технических решений, расчета экономических показателей и прогнозирования экологического эффекта. Также использованы данные о текущих затратах на оплату негативного воздействия на окружающую среду [2–4].

Для условий г. Петропавловска-Камчатского наиболее актуальными являются методы очистки, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Методы очистки сточных вод и их применение в условиях г. Петропавловска-Камчатского

Метод очистки	Принцип действия	Эффективность	Применимость для г. Петропавловска-Камчатского
Механический	Удаление нерастворимых примесей	60–70% по взвешенным веществам	Необходим как первая ступень на всех сооружениях
Биологический	Окисление органических веществ микроорганизмами	90–95% по БПК	Основной метод для хозяйственно-бытовых стоков
Физико-химический	Удаление тонкодисперсных и растворенных веществ	95–98% по специфическим загрязнителям	Для доочистки и обработки осадка
Обеззараживание	Уничтожение патогенной микрофлоры	99,9%	Обязательный этап перед сбросом в бухту

Особое значение имеет биологическая очистка, которая должна включать не только традиционные методы (аэротенки, биофильтры), но и современные технологии удаления биогенных элементов – нитро-денитрификацию и дефосфотацию. Это особенно важно для Авачинской бухты как водоема высшей рыбохозяйственной категории [3, 5].

Анализ предлагаемых мероприятий по районам города.

Для Северного района ключевым мероприятием является реконструкция КОС «Чавыча» и прекращение на нее неочищенных выпусков. Технические решения включают:

1. Реконструкция КОС «Чавыча»:
 - внедрение системы обеззараживания ультрафиолетом,
 - строительство цеха обработки осадка,
 - модернизация системы аэрации,
 - автоматизация технологических процессов.
2. Строительство и реконструкция насосных станций:
 - КНС-15 (реконструкция существующей КНС-11),
 - КНС-16 (новая станция),
 - КНС-18 (новая станция).
3. Строительство напорных коллекторов общей длиной 4,14 км диаметрами от 160 до 400 мм.

Для Центрального района, где полностью отсутствуют очистные сооружения, предлагается строительство модульных очистных сооружений производительностью 20 000 м³/сут в районе Мехзавода. Технические характеристики проекта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики проектируемых очистных сооружений в Центральном районе

Параметр	Значение	Примечания
Производительность	20 000 м ³ /сут	Максимальная часовая – 2 500 м ³ /час
Технология очистки	Полная биологическая очистка	С нитри-денитрификацией
Степень очистки по БПК	95–98%	До 3–5 мг/л
Степень очистки по азоту	85–90%	До 1,5–2,0 мг/л
Площадь застройки	2,5 га	С учетом резервных площадей

Кроме технических решений, необходимы организационные меры:

- ликвидация 18 бесхозных выпусков,
- создание единой диспетчерской системы управления,
- внедрение автоматизированной системы коммерческого учета сточных вод,
- разработка регламентов технического обслуживания.

Реализация мероприятий позволит добиться значительного улучшения ситуации. Динамика изменения основных показателей представлена в табл. 3.

Таблица 3

Динамика изменения показателей работы системы водоотведения

Показатель	2014 год	После реализации	Снижение, %
Объем неочищенных стоков, тыс. м ³ /сут	46,5	1,2	97,4
Удельный вес очищенных стоков, %	36,8	92,9	+56,1 п. п.
Масса сбрасываемых взвешенных веществ, т/год	2 634,0	176,4	93,3
Масса сбрасываемых нефтепродуктов, т/год	35,3	2,8	92,1

Расчет интегрального экологического эффекта показывает, что общее снижение негативного воздействия на акваторию Авачинской бухты составит 70,7%. Наиболее значительное снижение ожидается по следующим показателям:

- взвешенные вещества: 93,0–97,7%,
- БПК_{полн}: 96,9–97,2%,
- азот аммонийный: 98,3–99,5%,
- нефтепродукты: 90,7–92,4%.

Экономический расчет показывает высокую эффективность предлагаемых мероприятий. Основные экономические показатели представлены в табл. 4.

Таблица 4

Экономические показатели реализации мероприятий

Показатель	Значение	Примечания
Капитальные затраты	2,8 млрд руб.	В ценах 2011 года
Эксплуатационные затраты	180 млн руб/год	После реализации
Экономия на платежах за НВОС	84 млн руб/год	С учетом ликвидации сверхлимитных сбросов
Срок окупаемости	8,5 лет	Без учета экологического эффекта

Для долгосрочного решения проблемы необходимо рассмотреть следующие перспективные направления:

1. Создание системы очистки поверхностного стока – строительство ливневых очистных сооружений производительностью 50 000 м³/сут.
2. Внедрение технологий утилизации осадка – строительство цеха сжигания осадка с получением тепловой энергии.
3. Создание системы оборотного водоснабжения для промышленных предприятий.
4. Внедрение системы раннего обнаружения аварийных сбросов на базе автоматизированных постов контроля.

Проведенный анализ демонстрирует, что ключом к снижению воздействия сточных вод на Авачинскую бухту является системный подход, включающий техническое перевооружение, новое строительство и организационные меры. Реализация Инвестиционной программы МУП «Петропавловский водоканал» является необходимым первым шагом. Расчетный экологический эффект подтверждает высокую эффективность предлагаемых решений.

Реализация мероприятий позволит не только значительно улучшить экологическое состояние Авачинской бухты, но и даст существенный экономический эффект за счет снижения платежей за негативное воздействие на окружающую среду и предотвращения экологического ущерба.

Для устойчивого решения проблемы в дальнейшем необходимо разработать мероприятия по очистке поверхностного стока и стимулированию промышленных предприятий к внедрению систем замкнутого водооборота. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию предлагаемых решений и поиск инновационных технологий очистки, адаптированных к специфическим условиям Камчатского региона.

Литература

1. Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2014 году / Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский, 2015. – 250 с.
2. Инвестиционная программа МУП «Петропавловский водоканал» на 2011–2015 гг. Раздел 2, Водоотведение. Строительство и реконструкция системы водоотведения г. Петропавловска-Камчатского, 2011.
3. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.
4. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85.
5. Инженерная защита окружающей среды / Под ред. Ю.Л. Бирмана. – М.: АСВ, 2002. – 296 с.

УДК 502.51 (265.5)

Л.Н. Зуева, С.М. Чугункова

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: ludmilazueva1969@gmail.com*

КЛАССИФИКАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД И ОЦЕНКА ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ АВАЧИНСКОЙ БУХТЫ

В статье представлена комплексная характеристика сточных вод как основного источника загрязнения Авачинской бухты. На основе системного подхода проведена детальная классификация сточных вод по происхождению (хозяйственно-бытовые, производственные, атмосферные) и характеру загрязнений, проанализированы их качественные и количественные показатели. Установлено, что город Петропавловск-Камчатский обладает фрагментированной системой водоотведения раздельного типа с общим износом основных фондов 100%. Проанализированы данные по конкретным выпускам и районам города, показано, что из 46 выпусков лишь часть подключена к очистным сооружениям. В воды бухты ежегодно поступает до 15 млн м³ стоков, содержащих взвешенные вещества, соединения азота и фосфора, СПАВ, нефтепродукты, фенолы и тяжелые металлы, что приводит к стабильной характеристике вод бухты как «загрязненных» по индексу загрязненности вод (ИЗВ). Выявлены критические зоны загрязнения в районах городского пляжа, бухты Моховой и устья р. Авачи. Проведен расчет удельных нагрузок по основным загрязняющим веществам.

Ключевые слова: сточные воды, классификация, Авачинская бухта, загрязнение, канализационная система, выпуски, индекс загрязненности вод, нагрузка.

L.N. Zueva, S.M. Chugunkova

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: ludmilazueva1969@gmail.com*

CLASSIFICATION OF WASTEWATER AND ASSESSMENT OF ITS IMPACT ON THE ECOSYSTEM OF THE AVACHA BAY

A comprehensive characterization of wastewater as the main source of pollution in the Avacha Bay is presented. Based on a systematic approach, wastewater is classified by origin (domestic, industrial, atmospheric) and the nature of pollution, with their qualitative and quantitative indicators detailed. It has been established that Petropavlovsk-Kamchatsky has a fragmented separate wastewater disposal system with a total wear and tear of 100% of its fixed assets. Data on specific outlets and city districts showing that out of 46 outlets were analyzed and only a part is connected to treatment facilities. Up to 15 million m³ of wastewater containing suspended solids, nitrogen and phosphorus compounds, surfactants, oil products, phenols and heavy metals enter the bay waters annually, leading to the stable characterization of the bay waters as "polluted" according to the Water Pollution Index (WPI). Critical pollution zones were identified in the areas of the city beach, the Mokhovaya Bay and the mouth of the Avacha River. The calculation of specific loads for the main pollutants was carried out.

Key words: wastewater, classification, the Avacha Bay, pollution, sewerage system, outlets, water pollution index, load.

Авачинская бухта, являясь водоемом высшей рыбохозяйственной категории, играет ключевую роль в экосистеме Камчатки, служа местом нагула и миграции ценных видов лососевых рыб. Однако ее акватория подвергается значительной антропогенной нагрузке, связанной с хозяйственной деятельностью города Петропавловска-Камчатского, расположенного на ее северном побережье. Основным фактором негативного воздействия выступают сточные воды, сбрасываемые в акваторию без надлежащей очистки. Сложившаяся ситуация обусловлена целым комплексом

причин: фрагментарностью системы водоотведения, высоким износом инфраструктуры, наличием бесхозяйных выпусков и недостаточной мощностью очистных сооружений [1, 2].

Для разработки эффективных природоохранных мер и определения приоритетов необходима детальная систематизация сведений о видах, составе и объемах поступающих стоков, а также объективная оценка их реального влияния на морскую среду. Существующие исследования, как правило, освещают лишь отдельные аспекты данной проблемы. Целью настоящей работы является комплексная классификация сточных вод, поступающих в Авачинскую бухту, и оценка степени их воздействия на экологическое состояние акватории на основе ретроспективного анализа данных мониторинга и проектной документации.

Исследование основано на ретроспективном анализе литературных данных, нормативных документов, отчетных материалов МУП «Петропавловский водоканал» и данных государственного экологического мониторинга, проводимого ФГБУ «Камчатское УГМС» и ФГБНУ «КамчатНИРО». В работе использованы методы сравнительного анализа, классификации, статистического обобщения данных и картографирования. Оценка состояния вод проведена с применением индекса загрязненности вод (ИЗВ), рассчитываемого ежегодно по основным загрязняющим ингредиентам: нефтепродукты, фенолы, детергенты и растворенный кислород. Для расчета удельных нагрузок загрязняющих веществ использованы данные о концентрациях и объемах сброса [1, 3-7].

Все сточные воды, поступающие в акваторию Авачинской бухты, могут быть систематизированы по нескольким признакам. По происхождению и составу они подразделяются на три основные категории, характеристика которых приведена в табл. 1 [1, 3, 5, 6].

Таблица 1

Классификация и характеристика сточных вод, сбрасываемых в Авачинскую бухту

Категория сточных вод	Источники образования	Основные виды загрязнений	Качественные показатели (средние)
Хозяйственно-бытовые	Жилые здания, общественные учреждения, бытовые помещения предприятий	Органические вещества (белки, жиры, углеводы), ПАВ, биогенные элементы (N, P), патогенная микрофлора	Взвешенные вещества: 150–200 мг/дм ³ ; БПК _{полн} : 180–250 мг/дм ³ ; Азот аммонийный: 15–40 мг/дм ³ ; Фосфаты: 3–6 мг/дм ³
Производственные	Промышленные предприятия (рыбоперерабатывающие, пищекомбинаты, молокозавод)	Органические вещества (жиры, белки), нефтепродукты, взвешенные вещества, тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb)	Состав крайне нестабилен; ХПК может достигать 1 000 мг/дм ³ и более; Нефтепродукты: 0,5–2,0 мг/дм ³
Атмосферные (поверхностные)	Дождевые и талые воды с территории города	Взвешенные вещества, нефтепродукты, тяжелые металлы, хлориды, мусор	Взвешенные вещества: 300–2 500 мг/дм ³ ; Нефтепродукты: 5–20 мг/дм ³ ; БПК ₅ : 30–120 мг/дм ³

Хозяйственно-бытовые сточные воды образуются в результате хозяйственно-бытовой деятельности населения. Они характеризуются относительно постоянным составом с преобладанием органических веществ животного и растительного происхождения. Основную санитарную опасность представляют патогенные микроорганизмы и гельминты.

Производственные сточные воды формируются на промышленных предприятиях города, среди которых доминируют рыбоперерабатывающие заводы. Их состав крайне разнообразен и специфичен, часто включает такие опасные загрязнители, как тяжелые металлы, высокие концентрации органических веществ и нефтепродуктов.

Атмосферные (поверхностные) сточные воды включают в себя дождевые, талые и поливочные воды. Они менее опасны в санитарном отношении по сравнению с бытовыми, однако их объемы весьма значительны. Концентрации загрязнений, особенно взвешенных веществ и нефтепродуктов, в талых водах могут на порядок превышать таковые в дождевых [5].

Город Петропавловск-Камчатский имеет канализационную сеть раздельного типа, однако она характеризуется высокой степенью фрагментарности. Территория города условно разделена

на четыре района (Северный, Центральный, Восточный и Южный), каждый из которых имеет собственные, зачастую не связанные между собой, выпуски сточных вод. Структура системы водоотведения отражена в табл. 2 [6].

Таблица 2

Характеристика системы водоотведения г. Петропавловска-Камчатского (по состоянию на 2014 г.)

Элементы системы	Количество	Примечания
Канализационные сети	291,15 км	Износ 100%, преобладают асбестоцементные трубы
Канализационные насосные станции (КНС)	9 шт.	Износ 100%, большинство в аварийном состоянии
Канализационные очистные сооружения (КОС)	5 шт.	Крупнейшие – КОС «Чавыча» (проектная мощность 50 тыс. м ³ /сут)
Выпуски сточных вод – всего/в т. ч. бесхозные	46 шт./18 шт.	Бесхозные выпуски не имеют эксплуатирующей организации

Общий объем сточных вод, отводимых от города, составляет около 60 тыс. м³/сут. При этом лишь около 40% от этого объема проходит очистку, в основном на единственных городских очистных сооружениях полной биологической очистки (КОС) «Чавыча», которые загружены лишь на 30–40% от своей проектной мощности. Остальные стоки сбрасываются в Авачинскую бухту и прилегающие водотоки без очистки. Годовой объем сброса в бухту оценивается почти в 15 млн м³.

Анализ ситуации по районам города выявляет наиболее проблемные зоны:

- Северный район: имеет четыре выпуска, часть стоков очищается на КОС «Чавыча», однако выпуски «Сероглазка», «Геологи» и «Моховской» сбрасывают стоки без очистки, о чем свидетельствуют данные табл. 3.
- Центральный район: полностью отсутствуют очистные сооружения. Все стоки (около 19 тыс. м³/сут) сбрасываются без очистки через пять выпусков.
- Южный район: система наиболее фрагментирована, представлена 18 выпусками, из которых 13 являются бесхозными.

Таблица 3

Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах Северного района г. Петропавловска-Камчатского (в долях от ПДК для рыбохозяйственных водоемов) [6]

Выпуск	Взвешенные вещества	БПК _{полн}	Азот аммонийный	Нефтепродукты
Моховской	53,6	47,6	58,7	18,0
Сероглазка	50,3	40,5	686,5	19,4
Геологи	50,7	35,7	51,4	13,2
КОС «Чавыча» (очищенные)	4,1	4,9	31,6	1,8
ПДК _{рыбохоз}	3,0 мг/дм ³	3,0 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³	0,05 мг/дм ³

Как видно из табл. 3, концентрации загрязняющих веществ в неочищенных стоках многократно превышают установленные нормативы. Особенно критическая ситуация складывается по аммонийному азоту на выпуске «Сероглазка» (превышение ПДК в 686 раз). Даже очищенные на КОС «Чавыча» стоки не соответствуют требованиям для водоемов высшей категории по азоту аммонийному и БПК.

Поступление большого объема неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод оказывает многоплановое негативное воздействие на экосистему Авачинской бухты.

Нарушение гидрохимического режима:

- кислородный режим: окисление органических веществ, поступающих со стоками, приводит к значительному потреблению растворенного кислорода. На придонных горизонтах центральной части губы регулярно фиксируются случаи высокого загрязнения (ВЗ) и дефицита кислорода (до 2,94 мг/дм³) [1];

– накопление токсичных веществ: стабильно повышенные концентрации фенолов (в среднем 3–5 ПДК, с максимумами до 18 ПДК) и нефтепродуктов (в среднем 1,6 ПДК, с максимумами до 13 ПДК) создают хроническую токсикологическую нагрузку на гидробионты [1, 7].

Биогенные элементы (азот и фосфор), поступающие в большом количестве со сточными водами, стимулируют процессы эвтрофирования. Косвенным свидетельством этого является тот факт, что в 2014 г. в поверхностном слое акватории губы более 80% азота и фосфора находилось в составе органических соединений, что указывает на значительный приток органического вещества в воды бухты в течение всего периода наблюдений [7].

Повышенное содержание колиформных бактерий (индикаторов фекального загрязнения) свидетельствует о неудовлетворительном санитарном состоянии прибрежных вод. В 2014 г. их количество вдвое превысило показатели 2013 г. Наиболее неблагополучными районами являются акватория у центрального городского пляжа и бухта Крашенинникова. В одной из проб (бухта Сероглазка) была выделена *Salmonella enteritidis* [1].

Анализ ИЗВ, рассчитываемого ежегодно, показывает, что в сравнении с 2013 г. и последним пятилетием экологическое состояние Авачинской губы не претерпело значительных изменений, ее воды по-прежнему характеризуются как «загрязненные» [1].

Проведенное исследование позволяет констатировать, что разнородные по составу и происхождению сточные воды, сбрасываемые через фрагментированную и изношенную систему водоотведения г. Петропавловска-Камчатского, формируют комплексную и устойчивую антропогенную нагрузку на экосистему Авачинской бухты. Это подтверждается стабильно высокими значениями ИЗВ и многократным превышением ПДК по широкому спектру химических и микробиологических показателей.

Наиболее значительный вклад в загрязнение вносят неочищенные хозяйственно-бытовые стоки, характеризующиеся экстремально высокими концентрациями аммонийного азота и органических веществ. Существенный вклад в общую нагрузку вносят поверхностные стоки, особенно по взвешенным веществам и нефтепродуктам.

Для коренного улучшения ситуации необходим переход от анализа отдельных выпусков к системному управлению всеми категориями сточных вод. Приоритетными мерами должны стать ликвидация бесхозных выпусков, строительство недостающих очистных сооружений в Центральном и Южном районах, реконструкция КОС «Чавыча» с обеспечением нормативной очистки и разработка системы очистки поверхностного стока. Только комплексный подход позволит восстановить экологическое равновесие уникальной акватории Авачинской бухты.

Литература

1. Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2014 году / Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский, 2015. – 250 с.
2. *Потапов В.В.* Гидрологическая характеристика Авачинской губы // *Фундаментальные исследования.* – 2014. – № 9-10. – С. 2227–2231.
3. Методические рекомендации по расчету количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов, утвержденные приказом Госстроя России от 6 апреля 2001 г. – № 75.
4. *Яковлев С.В., Воронов Ю.В.* Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.
5. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определение условий выпуска его в водные объекты. – М.: НИИ Водгео, 2014. – 88 с.
6. Инвестиционная программа МУП «Петропавловский водоканал» на 2011–2015 гг. Раздел 2, Водоотведение. Строительство и реконструкция системы водоотведения г. Петропавловска-Камчатского, 2011.
7. Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2013 году / Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский, 2014. – 299 с.

УДК 629.5.061

В.В. Кашина

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, 603950
e-mail: lrtof@mail.ru*

АНАЛИЗ БАЗОВЫХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ СУДОВ

Внедрение систем управления жизненным циклом изделий обретает все большую актуальность в условиях глобальной цифровизации. Вместе с этим применение таких систем на водном транспорте в настоящее время недостаточно широко развито и не позволяет выполнять весь перечень необходимых задач, связанных с технической эксплуатацией флота, а также его проектированием, постройкой и утилизацией. В связи с этим обоснованной является проработка вопросов, связанных с созданием специализированного программного обеспечения для отечественного флота, адаптированного под широкий круг пользователей, включающий судовладельцев, судоремонтные и сервисные предприятия, проектные организации, а также контрольно-надзорные органы. Основой для создания такого продукта является определение базовых требований к его функционалу и особенностям применения с учетом требований всех потенциальных пользователей и обеспечения их эффективного взаимодействия.

Ключевые слова: жизненный цикл судна, цифровизация, внутренний водный транспорт, судоремонтные предприятия, судовладелец.

V.V. Kashina

*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, 603950
e-mail: lrtof@mail.ru*

BASIC REQUIREMENTS ANALYSIS FOR SHIP LIFECYCLE MANAGEMENT SYSTEMS

The implementation of product lifecycle management systems is becoming increasingly relevant in the context of global digitalization. At the same time, the use of such systems in water transport is currently insufficiently developed and does not allow performing the entire list of necessary tasks related to the technical operation of the fleet, as well as its design, construction and disposal. In this regard, it is reasonable to study issues related to the creation of specialized software for the domestic fleet, adapted to a wide range of users, including shipowners, ship repair and service enterprises, design organizations, as well as regulatory and supervisory authorities. The basis for creating such a product is to define the basic requirements for its functionality and application features, taking into account the requirements of all potential users and ensuring their effective interaction.

Key words: ship life cycle, digitalization, inland waterway transport, ship repair companies, shipowner.

Суда внутреннего и смешанного плавания, а также морские суда являются сложными объектами с длительностью жизненного цикла (далее – ЖЦ) более 30 лет [1]. В настоящее время в эксплуатации находятся отдельные единицы флота, чей возраст достигает 60 и более лет. Жизненный цикл судна начинается с идеи его создания, согласования технического задания на проектирование и разработки эскизного проекта, а завершается утилизацией. Вместе с тем реализация этапов проектирования и постройки судна и дальнейшей его эксплуатации в подавляющем большинстве случаев носит разрозненный характер, что создает негативную базу для потери критически важной технической информации, а также увеличения соответствующих затрат на обслуживание, ремонт и модернизацию и снижение качества планирования и выполнения. Отсутствуют также и комплексные подходы, позволяющие систематизировать процессы технической эксплуатации судна и дальнейшей его утилизации с максимально эффективным применением данных, полученных на этапе проектирования и постройки судна. Решению этих вопросов в настоящее время служит применение систем управления жизненным циклом, использование

которых для водного транспорта, как правило, завершается на этапе передачи судна заказчику после его постройки. На следующем этапе применение находят главным образом отдельные элементы цифровизации, слабо связанные с этапом проектирования. Вместе с тем именно применение таких систем позволяет обеспечить формирование непрерывного процесса разработки и корректировки данных, касающихся судна. Кроме того, их использование отвечает требованиям, направленным на формирование единого цифрового пространства в Российской Федерации [2, 3].

Ввиду того, что объекты внутреннего и морского транспорта характеризуются высокой сложностью и особым порядком эксплуатации и ремонта, к разработке систем поддержки их жизненного цикла, реализуемых на всех его этапах, должен предъявляться ряд требований, позволяющих обеспечить их необходимый функционал для всех участников процесса. В связи с этим целью представленного в настоящем материале анализа является выявление и систематизация базовых требований к таким системам, определяющим не только их практическую ценность, но и эффективность применения.

В целом универсальный подход к цифровизации предусматривает применение двух основных систем, предназначенных для оптимизации процессов управления жизненным циклом изделий:

- PLM (Product Lifecycle Management) – интегрированная система, охватывающая жизненный цикл изделия от начала проектирования до его утилизации. Она, помимо повышения качества и сокращения сроков выпуска продукта на этапе проектирования и изготовления, позволяет также обеспечивать доступ к актуальной информации о нем, упростить процесс внедрения инноваций, выполнять контроль качества (состояния) продукции на всех этапах жизненного цикла при мониторинге изменений в его характеристиках и параметрах;

- PDM (Product Data Management) – система, обеспечивающая управление данными о продукте. В целом она позволяет организовать централизованное хранение документации при обеспечении совместного доступа и функции защиты конфиденциальной информации. Основным результатом применения PDM является оптимизация процессов проектирования и снижение ошибок при их реализации [4].

Упомянутые системы получили широкое применение при выпуске различных видов продукции и обеспечивают достижение необходимого эффекта от их применения, выражающегося в сокращении затрат на проектирование и выпуск продукции, сокращении сроков реализации этих этапов, снижении количества ошибок и т. д. Используются подобные системы и при проектировании и постройке судов различного назначения. Яркими примерами в этой области являются предприятия Объединенной судостроительной корпорации, а также Онежский судостроительно-судоремонтный завод, применяющий в своей практике не только систему управления жизненным циклом, но и реализующий концепцию цифровой верфи [5] и некоторые другие. Вместе с тем в подавляющем большинстве случаев активное применение PLM-систем прекращается после передачи судна заказчику, после чего дальнейшие этапы жизненного цикла сопровождаются, как правило, с применением локальных инструментов цифровизации, включающих программное обеспечение, предназначенное для просмотра и разработки различных видов документации, организации документооборота, преимущественно внутри предприятия или группы компаний и т. д. В таком случае наличие признаков цифровизации жизненного цикла изделия (в данном случае судна или плавучего объекта) как комплексного подхода практически отсутствует. Кроме того, для флота как единой системы, где каждый ее участник выполняет отдельную роль, важно обеспечение взаимодействия таких участников, организованное с применением взаимосвязанных систем необходимого функционала.

Для формирования основы проработки вопросов создания эффективной системы сопровождения жизненного цикла отечественного флота в первую очередь необходимо определить перечень базовых функциональных, технических, архитектурных и прочих требований, отвечающих специфике эксплуатации судов различного назначения и принадлежности.

В качестве базовых функциональных требований, предъявляемых к системам сопровождения жизненного цикла судна, необходимо отметить:

- возможность применения на всех стадиях существования судна, от начала проектирования до утилизации;
- возможность разработки, хранения, корректировки и оборота документации на всех этапах ЖЦ судна с обеспечением ее максимального единообразия (стандартизации) и автоматизации формирования;

- реализация процедур прогнозирования при решении различных задач;
- взаимосвязь данных, хранящихся в системе и вводимых в нее вновь;
- формализованный порядок внесения изменений в информацию, хранящуюся в системе, позволяющий обеспечить необходимый уровень ее верификации и корректировку связанных данных и документов на основании внесенных изменений;
 - возможность качественной интеграции с внешними системами и продуктами, позволяющей освободить PLM-систему от необходимости оснащения избыточным функционалом, успешно реализованным при помощи других инструментов за ее контуром;
 - упрощенная передача информации из системы контрольно-надзорным и другим органам;
 - обеспечение приема информации от внешних источников, в частности с судовых датчиков, с возможностью выполнения дальнейшей обработки информации и включения ее в операционные блоки и функциональные модули системы;
 - оснащение системы необходимыми инструментами визуализации, позволяющими упростить процесс восприятия информации пользователями;
 - наличие функции управления материальными ресурсами и их учета;
 - накопление данных, позволяющих обеспечить формирование локальной и общей статистики, касающейся отечественного флота;
 - применимость системы для всех участников процесса проектирования, постройки, эксплуатации и утилизации судна, включая контрольно-надзорные органы;
 - оснащение системы встроенными базами данных, нормативной и прочей документацией, необходимой на всех этапах жизненного цикла, либо обеспечение взаимодействия с внешними достоверными источниками.

Помимо функциональных требований, эффективное применение PLM-систем для судов должно достигаться обеспечением ряда технических и архитектурных требований, среди которых следует выделить как базовые:

- возможность интеграции с внешними специализированными системами, задействованными для выполнения задач на всех этапах жизненного цикла судна, а также с судовыми системами мониторинга;
- способность к масштабированию, обеспечивающая возможность увеличения объемов данных, хранящихся в системе, включая добавление новых судов, а также возможность оснащения системы дополнительным функционалом;
- обеспечение безопасности данных. Решение данного вопроса должно быть обеспечено по нескольким направлениям, включая внутреннюю и внешнюю безопасность. Так, внутренняя безопасность должна обеспечиваться разграничением прав доступа и корректировки и обеспечением резервного копирования и аварийного восстановления данных. Достижение необходимого уровня внешней безопасности достигается защитой от несанкционированного доступа, противовирусной защитой;
- поддержка отраслевых и международных стандартов, позволяющая выполнять корректный обмен данными и обеспечивать совместимость с внешним программным обеспечением;
- минимальные системные требования, обеспечивающие также возможность применения стандартных устройств для работы с PLM-системой;
- мобильность, выраженная в возможности доступа пользователей к системе из любой точки мира без привязки к конкретному рабочему месту.

Важной особенностью при применении систем сопровождения жизненного цикла судов является обеспечение функционирования ECN-процессов в целях создания участниками технической эксплуатации флота отчетов о проблемах в случае ее выявления.

Ввиду особенностей проектирования, постройки, эксплуатации, ремонта флота, а также специфики его утилизации к специализированным PLM-системам предъявляется и ряд специфических требований. Так, для решения уникальных отраслевых задач необходимо:

- гибкое управление конфигурацией проектируемого и строящегося объекта ввиду возможной необходимости корректировки по различным причинам (от требований классификационных обществ, форс-мажорных обстоятельств, постройки различных судов на базе единого платформенного решения и т. д.), а также гибкое управление процессами сопровождения технической эксплуатации и утилизации флота в зависимости от ряда параметров (дислокация судна, особенности производственной базы, особенности эксплуатации и т. д.);

- формирование «цифрового двойника» судна, выражающееся в создании на основе данных системы виртуальной копии судна, максимально отражающей состояние и параметры реального объекта;
- логика системы, обеспечивающая возможность взаимодействия с внешними продуктами, предназначенными для организации логистических процессов, контроля внешних условий эксплуатации судна, обеспечения эффективной работы диспетчерского аппарата и контрольно-надзорных органов и т. д.;
- оснащение системы инструментами, работа которых основана на применении искусственного интеллекта, обученного для решения узких отраслевых задач.

Для качественной реализации задачи системы управления ЖЦ судов важно обеспечение выполнения всех перечисленных видов базовых требований. Их перечень может несколько меняться с течением времени исходя из политических условий, текущего и перспективного уровня развития технологий, появления новых видов флота и подходов к его эксплуатации, а также преимущественной принадлежности. Так, в отношении развития технологий значимое воздействие в текущих условиях оказывает уровень работы искусственного интеллекта, развитие которого идет глобальными темпами и позволяет решать множество специфических задач, требующих от специалистов различных направлений высокого уровня компетенций. Кроме того, его применение способно занять свою нишу в верификации информации и защите от человеческого фактора и других аспектов, оказывающих влияние на частоту возникновения ошибок. Его применение также может занять важную нишу, связанную с необходимостью анализа больших массивов данных, что, в частности, крайне актуально в реализации процессов прогнозирования в условиях динамичности технического состояния судовых элементов в зависимости от условий эксплуатации и прочих факторов.

В целом выполненный при подготовке настоящего материала анализ показывает, что системы сопровождения жизненного цикла при их реализации на современном уровне, могут выступать не только в качестве эффективного инструмента для решения отдельных задач проектирования, постройки, эксплуатации и утилизации флота, а представлять собой стратегическую платформу, объединяющую все процессы, имеющие место на протяжении существования судна или плавучего объекта. Перечень базовых требований, предъявляемых к эффективной системе, предусматривает глубокую ориентированность на вызовы, встающие перед отечественным флотом. При обеспечении соблюдения базовых требований вновь создаваемые системы дадут возможность для обеспечения перехода от разрозненного управления различными этапами жизненного цикла судна при помощи множества инструментов, к централизованному подходу, отвечающему интересам судовладельцев, судостроительных, судоремонтных и сервисных предприятий, проектных организаций, контрольно-надзорных органов и органов государственной власти.

Литература

1. *Кашина В.В., Бурмистров Е.Г., Мильцин Д.А.* Связь между состоянием технического флота и задачами транспортной Стратегии РФ // Речной транспорт. XXI век. – 2024. – № 3 (111). – С. 34–36.
2. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». – URL: <https://digital.gov.ru/target/nacziionalnaya-programma-czifrovaya-ekonomika-rossij-skoj-federaczii> (дата обращения: 12.05.2025).
3. Концепт информационно-системной системы, реализующей единое проектно-производственное пространство между участниками жизненного цикла судна / *А.В. Родькина, О.А. Иванова, А.А. Гуня, А.В. Пьянов* // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. – № 81(4). – С. 41–55.
4. PLM vs PDM: Выбор системы управления жизненным циклом продукта. – URL: <https://ibs-business.ru> (дата обращения: 17.10.2025).
5. В России запускается первая «цифровая верфь» на Онежском судостроительно-судоремонтном заводе под управлением Системы Global ERP: производительность вырастет в 3 раза. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-01-16_v_rossii_zapuskaetsya_pervaya?erid=2W5zFJpzVMJ (дата обращения: 17.10.2025).

УДК 629.5.083.5

В.В. Кашина

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, 603950
e-mail: lrtof@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ РИСКОВ СУДОХОДНЫХ КОМПАНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПЛАНИРОВАНИЕМ СУДОРЕМОНТА

Деятельность, связанная с эксплуатацией водного транспорта, сопряжена с большим количеством рисков различного происхождения. Данная ситуация характерна и для планирования предстоящего ремонта и обслуживания флота. Проявление рисков в этой области оказывает негативное воздействие на функционирование и судоходных компаний, и судоремонтных предприятий, а также подрядных организаций и в отдельных случаях поставщиков. На этапе планирования ремонтных работ их проявление влечет за собой рост запланированных объемов, стоимости и продолжительности ремонта, а также снижение его качества. При этом влияние проявления рисков на участников процесса будет различным. Вместе с тем увеличение стоимости и продолжительности ремонта судна в первую очередь сказывается на экономической эффективности и безопасности его эксплуатации в целом, актуальной в первую очередь для судовладельца. В целях возможного предотвращения наступления рисков и для уменьшения негативного воздействия от их проявления в настоящей статье определен их перечень и также проанализировано влияние их проявления на целевые показатели. Подготовленный материал является основой для создания системы риск-менеджмента судоходных компаний при планировании ремонтных работ.

Ключевые слова: риск, судоремонтное предприятие, судоходная компания, объемы ремонта.

V.V. Kashina

*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, 603950
e-mail: lrtof@mail.ru*

INVESTIGATION OF SHIPPING COMPANIES RISKS RELATED TO SHIP REPAIR PLANNING

Activities related to the water transport operation involve a large number of various origins risks. This situation is also typical for planning upcoming fleet repairs and maintenance. The manifestation of risks in this area has a negative impact on the functioning of shipping companies and ship repair companies, as well as contractors and, in some cases, suppliers. At the stage of planning repairs, their manifestation entails an increase in the planned volume, cost and duration of repairs, as well as a decrease in its quality. At the same time, the impact of the manifestation of risks on the participants in the process will vary. At the same time, the increase in the cost and duration of ship repairs primarily affects the economic efficiency and safety of its operation in general, which is relevant primarily for the shipowner. In order to prevent risks and to reduce the negative impact of their manifestation, the list and also the analysis of the impact of their manifestation on the target indicators were presented. The prepared material is the basis for creating a risk management system for shipping companies when planning repairs.

Key words: risk, ship repair company, shipping company, repair volumes.

В процессе своей деятельности судоходные компании сталкиваются с широким многообразием рисков различного происхождения. Ремонт флота является одним из важнейших этапов его технической эксплуатации [1] и во многом определяет безопасность и экономическую эффективность работы судов за счет значительного размера соответствующих затрат времени и материальных средств. Оценка рисков, связанных с планированием ремонтных работ, является важным этапом, обеспечивающим соблюдение сроков, надлежащего качества и минимального отклонения планируемых затрат от фактических значений. В связи с этим настоящий материал

посвящен выявлению комплекса рисков судоходных компаний, имеющих место при планировании ремонтных работ, а также формированию системного подхода по их минимизации. Основное внимание в работе уделено планированию ремонта судов, проводящегося в рамках очередного освидетельствования Российским Классификационным Обществом (далее – РКО) при обязательном проведении докования судна [2].

Ремонт на слипе или в доке в объемах, предусмотренных Правилами РКО (далее – доковый ремонт), обуславливает формирование капиталоемкой статьи затрат, что особенно характерно для судов, чей возраст превышает 25–30 лет. Кроме того, процедура очередного освидетельствования проводится один раз в пять лет, что требует регулярного планирования соответствующих процессов докования и ремонта судна. В условиях того, что даже небольшие судоходные компании располагают, как правило, не менее чем 5–10 судами, необходимость планирования ремонта возникает практически ежегодно.

Планирование и выполнение докового ремонта представляет собой сложный процесс, обуславливающий необходимость координации множества его участников, включающих представителей судовладельца в лице береговых специалистов и членов экипажа конкретного судна, судоремонтных предприятий и их подрядчиков, поставщиков, проектных организаций, а также представителей Классификационного общества. В отдельных случаях, в частности при одновременном выполнении переоборудования, модернизации или обновления, а также в случае необходимости выполнения расчета прочности корпуса судна, необходимым является и привлечение проектных организаций.

Основные этапы планирования докового ремонта судна и подготовки к нему включают:

1. Сбор и анализ информации о текущем техническом состоянии судна:
 - запрос и обработка предварительных ремонтных ведомостей от экипажа;
 - анализ актов предыдущей дефектации, ведомостей и актов выполненных работ по ремонту;
 - пересчет толщин, отраженных в актах с учетом средней скорости износа, установленной РКО [3] или с применением других значений;
 - применение инструментов прогнозирования объемов ремонта [4];
 - проведение предварительной дефектации.
2. Формирование обобщенной предварительной ремонтной ведомости;
3. Поиск подходящих судоремонтных предприятий, с учетом обеспечения выполнения базовых требований [5];
4. Направление запросов на судоремонтные предприятия, подкрепленных предварительными данными об объемах предстоящего ремонта (предварительными ремонтными ведомостями);
5. Выбор предприятия;
6. Согласование условий, сроков, стоимости ремонта и заключение договора;
7. Определение перечня работ и поставок, ответственность за выполнение которых закрепляется за владельцем судна (например, заказ металлопроката, оборудования, запасных частей, краски, выполнение дефектации, центровки, ремонта отдельных участков корпуса и т. д.);
8. Поиск поставщиков и подрядчиков для обеспечения указанных в п. 6 позиций;
9. Планирование и реализация необходимых подготовительных работ (замывка и пропарка топливных отсеков, удаление зашивок и прочих горючих элементов в местах проведения огневых работ и т. д.);
10. Согласование даты прибытия судна на судоремонтное предприятие и даты его подъема на слип;
11. Согласование процедур взаимодействия с экспертом РКО.

Каждый из перечисленных этапов связан с определенным перечнем рисков различного характера. В контексте настоящего материала целесообразно рассматривать риски, появление которых оказывает негативные последствия. Под такими последствиями следует понимать увеличение стоимости ремонтных работ, увеличение сроков выполнения ремонтных работ, их неудовлетворительное качество. Выраженный негативный характер проявления рисков ведет к нарушению финансовой стабильности и конкурентных позиций судоходной компании. В связи с этим вопрос управления рисками на стадии планирования судоремонтных работ можно отнести к стратегической задаче, решение которой имеет пролонгированные во времени последствия.

В процессе исследования рисков судоходных компаний, связанных с планированием судоремонта целесообразно применение известного подхода к их структурированию [6]. В соответствии с ним структура формируется следующими позициями:

- источник риска;
- причина, создающая риск;
- риск (его наименование);
- последствия от наступления риска;
- влияние наступления риска на целевые показатели.

Для формирования структуры и разработки мер по управлению рисками в заданной области необходимо в первую очередь выполнить исследование их номенклатуры. Так, анализ процесса планирования ремонтных работ, основные этапы которого представлены выше, и влияние особенностей его выполнения на ход ремонта и достижение целевых показателей (соответствие фактически выполненным объемам ремонта их стоимости запланированным значениям) позволяет сформулировать перечень основных наименований рисков, имеющих наиболее важное значение для судоходных компаний при планировании объемов ремонтных работ:

1. Риск приобретения повреждений судном после предварительного осмотра в целях формирования ведомости при предварительной дефектации;
2. Риск проявления недостаточного качества выполнения предварительной дефектации либо отсутствие ее проведения, в случае когда при формировании предварительной ремонтной ведомости во внимание принимались только известные ранее позиции, выполнение ремонтных работ по которым необходимо;
3. Риск проявления неверно принятых скоростей изнашивания элементов судна при составлении предварительной информации по объему предстоящих ремонтных работ (главным образом характерно для ремонта корпуса и трубопроводов);
4. Риск обнаружения отсутствия учета типовых износов и повреждений, характерных для конкретных проектов судов при определенных условиях эксплуатации;
5. Риск выявления скрытых и труднопрогнозируемых дефектов в ходе производства ремонтных работ, определение которых невозможно при проведении предварительной дефектации, а также заводской дефектации;
6. Риск получения повреждений судном при подъеме на слип/в док, при его пересадке на тумбы, а также в ходе выполнения ремонтных работ и т. д.;
7. Риск выявления отсутствия учета технологически необходимых дополнительных объемов ремонтных работ, таких как соблюдение минимальных параметров ремонтируемых/заменяемых элементов, отсутствие учета необходимости выполнения технологических вырезов, замены дополнительных деталей и узлов, сопряженных с заменой запланированных и т. д.;
8. Риск неудовлетворительного качества материалов, используемых при ремонте;
9. Риск ошибок при выполнении ремонта, связанных с нарушением технологии и выполнением ремонта на незапланированных позициях;
10. Риск возникновения необходимости замены материалов, деталей, узлов, оборудования на аналоги в связи с отсутствием необходимых позиций на рынке;
11. Риск изменения запланированных сроков поставок материалов, деталей, оборудования, необходимых для выполнения ремонта судна, в том числе по тем позициям, которые были добавлены в ходе ремонта;
12. Риск увеличения стоимости позиций, необходимых для выполнения ремонтных работ;
13. Риск отказа подрядных организаций от выполнения объемов работ, согласованных на этапе планирования судоремонта и отнесенных на ответственность судовладельца, а не судоремонтного предприятия;
14. Риск позднего подхода судна на ремонт либо проблемы, связанные с его подготовкой к ремонту, влияющие на возможность завода своевременно поднять судно на слип/в док по причине замерзания акватории, нарушения графика подъема и т. д.;
15. Риск выявления ошибок в договорной документации, а также двоякого трактования условий, оставляющего возможность включения в итоговую стоимость дополнительных позиций и корректировки сроков и стоимости на невыгодных для судовладельца условиях;
16. Риск ужесточения требований Правил, выход писем, обуславливающих непланируемое увеличение объемов выполняемых работ;

17. Риск задержек и иных сложностей, связанных с процедурами наблюдения за ремонтом и выполнения освидетельствования судна;

18. Риски форс-мажорного характера, а также риски, связанные с непредвиденными погодными условиями, соответствующими аномальному характеру, риски возникновения пожаров на судне в ходе выполнения работ и т. д.;

19. Риски, связанные с отсутствием учета необходимости своевременной разработки проектной и технологической документации для выполнения ремонта и модернизации/переоборудования судов, выполнения расчетов прочности;

20. Риск включения в предварительную ремонтную ведомость избыточных объемов ремонтных работ, добавленных в нее на основании опыта эксплуатации судна, в соответствии с рекомендациями различного происхождения, при принятии скоростей изнашивания, превышающих фактические значения, а также при анализе актов предыдущих дефектаций, содержащих некорректную информацию по отдельным элементам.

Представленный перечень включает наиболее распространенные риски, имеющие место при планировании и стоимости ремонтных работ судовладельцами. Проявление 1–19 рисков приводит, как правило, к увеличению стоимости и сроков выполнения ремонтных работ, а иногда и к снижению их качества и влечет за собой ряд конкретных последствий, включающих:

- необходимость выполнения дополнительных объемов ремонтных работ;
- необходимость согласования условий выполнения дополнительных объемов с судоремонтным предприятием и с подрядными организациями;
- необходимость поиска и привлечения дополнительных подрядных специалистов;
- необходимость дополнительного кредитования или резервирования средств;
- необходимость принятия мер по корректировке и «уплотнению» графиков с целью соблюдения сроков;
- необходимость оплаты дополнительных работ по невыгодной стоимости, отличной от установленной для основного объема ремонта;
- необходимость выполнения проектных работ с целью замены оборудования, поставка которого невозможна на аналоги;
- необходимость оперативного поиска дополнительных расходных материалов, сменно-запасных частей и т. д. для выполнения ремонта;
- необходимость более тщательного контроля качества выполняемых ремонтных работ при их выполнении множеством подрядчиков;
- необходимость принятия мер по обеспечению репутации компании, угроза которой может быть нанесена необеспечением выхода флота в навигацию.

Проявление риска 20, в отличие от всех остальных, может повлечь за собой уменьшение объемов изначально запланированных ремонтных работ, что также может формировать затруднения при выполнении ремонта и согласовании его условий, как правило, завод дает согласие на его выполнение, исходя из предварительного объема ремонта, и его уменьшение вместе со стоимостью является невыгодным для исполнителя. Таким образом, возможны затруднения при согласовании новых условий и подготовке дополнительных соглашений.

Как видно из представленной информации, планирование ремонтных работ сопряжено для судовладельца с большим количеством рисков, каждый из которых требует детального изучения и выработки подходов по предотвращению и преодолению в рамках формирования программ риск-менеджмента. В целом борьба с рисками в данной области должна начинаться не менее чем за год до начала планируемого ремонта и предусматривать как базовые меры тщательное изучение текущего и перспективного состояния элементов судна силами различных специалистов, основательный подход к формированию документации и согласованию договоров, создание резерва для дополнительного финансирования, отлаживание взаимодействия с резервом подрядных организаций и поставщиков, грамотное взаимодействие с проектными организациями, Классификационным обществом и заводом-исполнителем, принятие превентивных мер по обеспечению необходимой подготовки судна к ремонту, включая выбор судоремонтного предприятия с наиболее рациональным расположением, формирование резервного запаса сменно-запасных частей, материалов и оборудования, необходимого для судна, плотную работу с экипажем в целях своевременного получения информации об изменении состояния судна и особенностях параметров его работы и т. д.

Таким образом, планирование судоремонта является зоной интенсивной концентрации множества рисков, преодоление которых требует системного управления. Материал настоящей статьи позволит судоходным компаниям сформировать основу проактивного управления рисками в целях экономии средств, улучшения состояния флота и обеспечения конкурентных преимуществ. Значительный эффект может обеспечить разработка цифровых решений для выполнения качественного прогнозирования объемов судоремонта и совершенствования процесса поиска судоремонтных предприятий и поставщиков. Примером такого решения может являться разрабатываемая ФГБОУ ВО «ВГУВТ» информационно-технологическая платформа «Флот-Сервис-Судоремонт».

Литература

1. РД 31.20.01-97. Правила технической эксплуатации морских судов. Основное руководство (утв. Минтрансом РФ 08.04.1997 № МФ-34/672). – М.: ИНФРА-М, 2022. – 48 с.
2. Российское классификационное общество. Правила освидетельствования судов в процессе их эксплуатации. – М., 2019. – 160 с.
3. Российское классификационного общество. Правила классификации и постройки судов. – М., 2019. – 1608 с.
4. *Кашина В.В., Бурмистров Е.Г.* Проблема планирования объемов ремонта корпусов судов при наличии труднопрогнозируемых дефектов корпусных конструкций // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы междунар. науч.-практ. форума. – ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2022. – URL: http://вф-река-море.рф/2022/PDF/5_14.pdf (дата обращения: 15.10.2025).
5. *Бурмистров Е.Г., Зяблов О.К., Кашина В.В.* Постановка оптимизационной задачи выбора предприятия для зимнего судоремонта // Речной транспорт (XXI век). – 2023. – № 1(105). – С. 26-29.
6. *Николаенко В.С.* Безупречный риск-менеджмент: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2023. – 140 с.

УДК 629.5.083.5

В.В. Кашина

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, 603950
e-mail: lrtof@mail.ru*

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье обоснована актуальность изучения текущего состояния отечественных судоремонтных предприятий в целях получения информации об их номенклатуре и производственных возможностях. Предложен систематизированный подход к проведению такого исследования в целях наполнения соответствующей информацией базы данных информационно-технологической платформы «Флот-Сервис-Судоремонт», создаваемой ФГБОУ ВО «ВГУВТ» для повышения эффективности функционирования отечественного судоремонта. Обозначены перспективы применения получаемой в результате выполняемых исследований информации, ориентированные на развитие предприятий отрасли.

Ключевые слова: судоремонтное предприятие, производственные возможности, технологии, информационно-технологическая платформа.

V.V. Kashina

*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, 603950
e-mail: lrtof@mail.ru*

SPECIFICS OF CONDUCTING RESEARCH OF DOMESTIC SHIP REPAIR ENTERPRISES PRODUCTION CAPABILITIES

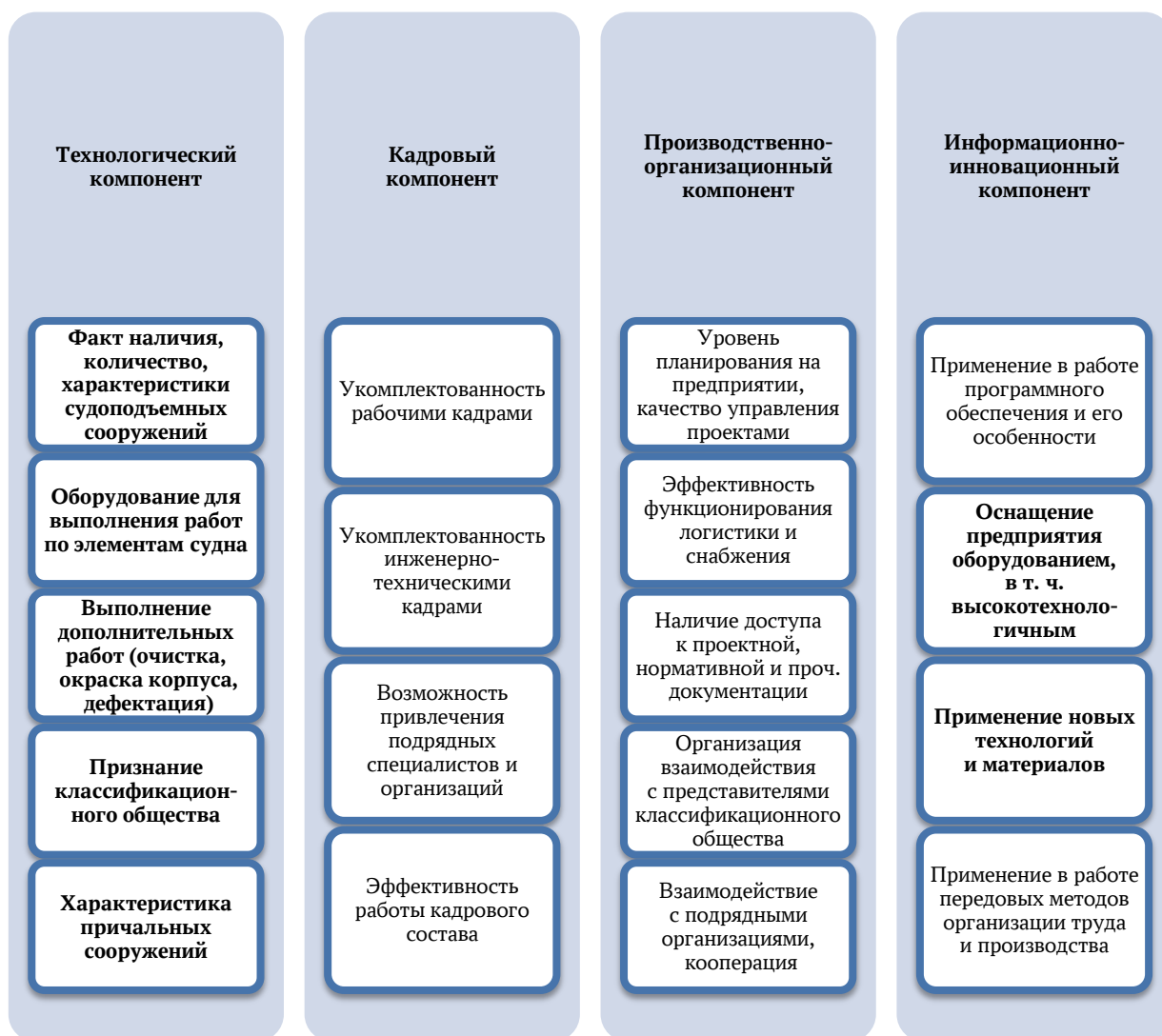
The relevance of studying the current state of domestic ship repair enterprises in order to obtain information about their nomenclature and production capabilities is proved. A systematic approach to conducting such a study is proposed in order to fill in the relevant information from the database of information and technology platform "Fleet-Service-Ship Repair", created by the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volga State University of Water Transport" to improve the efficiency of domestic ship repair. The prospects of applying the information obtained as a result of the research carried out, focused on the development of industry enterprises, are outlined.

Key words: ship repair company, production facilities, technologies, information and technology platform.

Отечественные судоремонтные предприятия в настоящее время испытывают серьезную нагрузку в условиях негативного влияния внешнеполитического фактора, выраженного в санкционном давлении различной направленности, а также в ограничении поставок оборудования, запасных частей и возможности выполнения ремонтных работ и обслуживания морских судов за рубежом, что имело широкую практику 3–5 лет назад. Таким образом, нагрузка на отечественные судоремонтные предприятия значительно возросла, что усугубляется устареванием флота и необходимостью освоения новых технологий для ремонта строящихся высокотехнологичных судов. Вместе с тем, развитие отечественных судоремонтных предприятий долгое время шло крайне медленными темпами, а в ряде случаев существование отдельных судоремонтных заводов, мастерских и баз технического обслуживания флота фактически прекратилось, либо их производственные возможности сократились до минимума. Вместе с тем в соответствии с курсом на развитие грузовых и пассажирских перевозок водным транспортом [1] возникает острая необходимость обеспечения надлежащего технического состояния флота, а следовательно, и эффективного функционирования отечественного судоремонта. Таким образом, становится

необходимой оптимизация использования мощностей действующих судоремонтных предприятий, определение «узких мест» для обеспечения эффективного, своевременного и качественного ремонта судов, а также обоснования перспектив развития предприятий отрасли в части увеличения количества предприятий и необходимости освоения новых технологий и повышения производительности. Решению этих вопросов должна служить создаваемая ФГБОУ ВО «ВГУВТ» информационно-технологическая платформа «Флот-Сервис-Судоремонт» [2], основу которой будет составлять база данных отечественных судоремонтных предприятий с указанием их определяющих производственных возможностей. Для ее качественного создания и реализации перечисленных позиций необходимым является формирование подходов для выполнения качественной оценки текущего состояния отечественного судоремонта. В соответствии с изложенным, в настоящем материале предложен комплексный подход к проведению исследования производственных возможностей отечественных судоремонтных предприятий, который можно рассматривать как производственную диагностику предприятий. Для его формирования необходимо решение ряда задач, включающих определение ключевых компонентов производственных возможностей судоремонтных предприятий и определение особенностей данного вида производства, влияющих на разработку такого подхода.

Судоремонтное производство предусматривает выполнение широкого перечня работ по всем элементам судов и плавучих объектов различных типов. На рисунке представлены ключевые компоненты, определяющие возможности судоремонтного предприятия.



Ключевые компоненты, определяющие производственные возможности судоремонтного предприятия

Параметры кадрового и производственно-организационного компонента являются подвижными и зависят от экономической ситуации, сезонности, обуславливающей загрузку судоремонтного производства и других факторов. Кроме того, эти компоненты в значительной степени являются саморегулируемыми, так при дефиците штатных сотрудников на предприятии принимается более широкая практика привлечения подрядных специалистов и т. д. Вместе с тем оценить кадровый компонент при глобальном анализе предприятий крайне сложно, а результаты получаемые в результате подобного исследования, на момент его окончания не будут в достаточной мере достоверными за счет произошедших в период его проведения изменений. Внедрение современных средств цифровизации производства как составляющей информационно-инновационного компонента в большей мере оказывают влияние на эргономику, качество и скорость разработки документации и в меньшей степени влияют на эффективность производственных процессов. Поскольку в настоящей работе первостепенное значение имеет оценка непосредственно производственных возможностей, исследованию должен подлежать технологический компонент, а также информационно-инновационный компонент в части применяемого на предприятии оборудования и новых технологий ремонта. Именно эта информация является минимально необходимой для оценки производственного потенциала предприятия в части выполнения необходимого спектра работ и может представлять собой основу для формирования базы данных по отечественному судоремонту. Оценка кадровых и организационных вопросов является вторичной, но может накладывать ограничения на эффективность применения имеющихся на предприятии технологий и оборудования, а в некоторых случаях обуславливать простои на производстве и недостаточную его производительность [3].

В целом для выполнения диагностики отечественных судоремонтных предприятий целесообразно определить их номенклатуру и исследовать имеющиеся на них производственные возможности с применением определенного набора показателей. Эта информация, систематизированная в рамках работы над ИТП ФСС, найдет свое применение при выборе судоремонтного предприятия судовладельцем с учетом всех необходимых факторов [4], а также при подборе подрядных организаций предприятием-исполнителем ремонта и формировании производственных коопераций.

Необходимо отметить, что специальных подходов и методик массового изучения производственных возможностей судоремонтных предприятий нет, что обуславливает необходимость их разработки, в условиях курса на развитие водного транспорта.

Предлагаемый, вновь разрабатываемый, подход к проведению таких исследований предусматривает следующие этапы:

1. Сбор исходных данных:

- составление перечня отечественных судоремонтных предприятий с указанием наличия действующего признания классификационного общества (в первую очередь рассматриваются предприятия, имеющие признания Российского Классификационного Общества);
- формирование перечня основных показателей, характеризующих производственные возможности предприятия;
- сбор информации о наличии конкретных производственных возможностей на каждом предприятии посредством массовой рассылки специально подготовленных чек-листов или личного взаимодействия с представителями предприятий;

2. Обработка и анализ полученных данных:

- систематизация полученной информации и ее сведение в единую базу;
- выявление дефицитов производственных мощностей с учетом расположения предприятий;
- определение недостающей информации и реализация мер по ее дополнительному поиску;

3. Формирование выводов и итогового блока информации:

- сравнение отечественных предприятий с передовыми зарубежными конкурентами (бенчмаркинг);
- выполнение укрупненного SWOT-анализа [5, 6] с целью определения «узких мест» и направлений развития предприятий отрасли;
- подготовка базы данных отечественного судоремонта с наполнением ее информацией, позволяющей осуществлять эффективную постановку судов на ремонт и поиск его исполнителей.

При выполнении исследования необходимо принимать во внимание многообразие производственных процессов, реализуемых в процессе судоремонта без избыточного пооперационного углубления.

Для наиболее качественного выполнения диагностики отечественного судоремонта и с учетом значительного количества предприятий исследование может выполняться двумя способами:

1. Массовое камеральное исследование;
2. Индивидуальное изучение отдельных предприятий.

Реализовать этап массового исследования возможно путем веерной рассылки заранее подготовленных чек-листов, в которых отображается перечень основных работ, выполняемых в рамках ремонта флота. Важнейшее влияние имеет наличие на предприятии судоподъемных сооружений в условиях их остро выраженного сезонного дефицита практически на всей территории Российской Федерации [7, 8]. Помимо определения типа судоподъемных сооружений, имеющих на предприятиях, важно определить их основные характеристики, обуславливающие возможность подъема конкретных судов. Определяющими параметрами здесь могут выступать максимально допустимые размерения и доковая масса судна.

В результате массовой рассылки появляется основа для выбора предприятий, подлежащих индивидуальному изучению. На этом этапе возможно личное взаимодействие с представителями изучаемых заводов, а также работа, основанная на заполнении детализированных версий чек-листов с целью выявления особенностей применяемых технологий и имеющегося оборудования.

Все полученные результаты, имеющие большое значение в формировании корректного представления о состоянии отечественного судоремонта и упрощении поиска исполнителей ремонта флота могут претерпевать изменения с течением времени, в связи с чем целесообразно выполнение их регулярной актуализации. При выполнении этого условия помимо упомянутых выше функций эта информация сможет служить основой для формирования вектора развития отечественного судоремонта как в части обоснования необходимости создания новых предприятий, так и в части выявления необходимости освоения новых технологий уже существующими заводами. Таким образом, становится возможным формирование более обоснованной инвестиционной политики в рассматриваемой сфере. Стратегической перспективой проведения исследований производственных возможностей судоремонтных предприятий может являться разработка цифровых двойников.

Литература

1. Об утверждении Стратегии развития внутреннего водного транспорта до 2030 года. – URL: <https://government.ru/docs/22004/> (дата обращения: 11.05.2025).
2. Информационно-технологическая платформа «Флот-Сервис-Судоремонт» как инструмент обеспечения эффективного функционирования отечественного судоремонта / В.В. Кашина, Е.Г. Бурмистров, В.Г. Сугаков, А.В. Соловьев // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 3. – Часть 3. – С. 153–160.
3. Кудрявцева И.Ю. Дефицит кадров как основная угроза кадровой безопасности на предприятиях водного транспорта // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. – № 81 (4). – С. 152–165.
4. Бурмистров Е.Г., Зяблов О.К., Кашина В.В. Постановка оптимизационной задачи выбора предприятия для зимнего судоремонта // Речной транспорт (XXI век). – 2023. – № 1 (105). – С. 26–29.
5. Анализ хозяйственной деятельности ОАО «178 Судоремонтный завод». – URL: https://studbooks.net/1364430/menedzhment/analiz_hozyaystvennoy_deyatelnosti_sudoremontnyy_zavod/ (дата обращения: 17.10.2025).
6. Сильные стороны SWOT-анализа. – URL: https://vuzlit.com/1957874/silnye_storony_swot_analiza (дата обращения: 17.10.2025).
7. Судоремонт: могут ли вертикальные судоподъемники стать решением дефицита спускоподъемных сооружений? – URL: <https://paluba.media/news/200107> (дата обращения: 17.10.2025).
8. Судоподъемные средства для судоремонта: критическая точка. – URL: https://www.korabel.ru/news/comments/sudopodemnye_sredstva_dlya_sudoremonta_kriticheskaya_tochka.html (дата обращения: 17.10.2025).

УДК 621.396.932

М.В. Колипов, О.А. Мартынов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: maxvitovich79@mail.ru; Martynov-stuurman@mail.ru*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РС-10

В настоящей статье даны основные критерии, по которым производится оценка эффективности эксплуатации радионавигационных систем специалистами обслуживающих организаций. Предложенные в методике критерии дают возможность оценивать работу как однотипных, так и разнотипных радионавигационных систем, сопоставлять и сравнивать результаты их работы, что способствует регламентации оценок качества эксплуатации и перевода оценок на единую нормативную основу при оценке эффективности их эксплуатации.

Ключевые слова: эксплуатация, радионавигационные системы, радионавигационный параметр, эффективность, критерии, оценка качества, коэффициент.

M.V. Kolipov, O.A. Martynov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: maxvitovich79@mail.ru; Martynov-stuurman@mail.ru*

EVALUATION OF RADIO NAVIGATION SYSTEM RS-10 OPERATIONAL EFFICIENCY

The main criteria for evaluating the efficiency of radio navigation systems by specialists from service organizations are given. The criteria proposed in the methodology make it possible to evaluate the performance of both similar and different types of radio navigation systems, as well as to compare and evaluate their performance, which helps to regulate the quality of their operation and to establish a unified standard for evaluating their effectiveness.

Key words: operation, radio navigation systems, radio navigation parameter, efficiency, criteria, quality assessment, coefficient.

Радионавигационные системы (РНС) относятся к категории таких сложных систем, аномальную работу которых не всегда можно обнаружить с помощью приемоиндикаторной аппаратуры, установленной на судне. Не выявленное и не устраненное вовремя обслуживающим персоналом нарушение в работе РНС может не только сказаться на качестве выполнения задачи, но и сорвать ее выполнение, а в отдельных случаях может привести к навигационному происшествию или аварии. Поэтому особое значение приобретает контроль качества работы РНС (точность, стабильность и непрерывность вырабатываемого им радионавигационного параметра), грамотные и быстрые действия операторов по восстановлению нормального режима работы.

При правильной эксплуатации любой РНС, рассматриваемой как совокупность обслуживающего персонала и комплекса технических средств (опорные наземные станции, пункты контроля), должен вырабатываться высокостабильный, надежный и соответствующий нормам технических условий радионавигационный параметр. С этой точки зрения и рассматривается оценка эффективности эксплуатации РНС как способность системы вырабатывать радионавигационный параметр в пределах норм, определенных требованиями технической документации.

Предлагаемые в статье показатели дают приближенную методику оценки эффективности эксплуатации РНС, так как статистического материала, на котором основываются расчеты этих показателей, не всегда достаточно для точного их определения. Однако, несмотря на ограниченность

статистического материала, результаты расчетов дают возможность с достаточной объективностью оценить эффективность эксплуатации РНС.

Для удобства оценка эффективности эксплуатации радиотехнических систем в данной статье рассматривается на примере работы радионавигационной системы РС-10.

Общие сведения о базовой автоматизированной радионавигационной системе высокой точности РС-10. РНС РС-10 является импульсно-фазовой, разностно-дальномерной системой высокой точности, состоящей из трех, четырех, пяти или же шести наземных станций РС-5 (одна из которых выполняет функции ведущей (ВЩ), а остальные ведомых (ВМ-1,2,3,4,5)) и предназначена для определения координат подвижных объектов в любое время суток.

Номинальная дальность действия РНС РС-10 составляет 250 км, но она зависит от взаимного расположения наземных станций, длины баз и уровня радиопомех. Среднеквадратичная погрешность определения навигационного параметра приемниками составляет до 15 м. Конструктивно все станции РС-5 взаимозаменяемы. Для обеспечения бесперебойной работы каждая станция имеет два комплекта основной аппаратуры. В аппаратуре имеется встроенная система обнаружения неисправностей. Среднее время наработки на отказ для системы из трех станций не менее 500 ч. Технический ресурс станции 25 000 ч.

Исследуемая радионавигационная система РС-10 развернута на восточном побережье полуострова Камчатка в составе трех станций РС-5.

Основные показатели эффективности эксплуатации радионавигационной системы. Основными показателями эффективности эксплуатации РНС являются [1]:

- а) коэффициент качества выработки и поддержания радионавигационного параметра ($P_{ВП}$),
- б) коэффициент оперативной готовности ($P_{ОГ}$),
- в) коэффициент исправного действия (коэффициент загрузки для радионавигационных систем, работающих по заявкам) ($P_{ИД}$).

Эти показатели в наибольшей степени соответствуют возможности максимального учета факторов, определяющих точностные и эксплуатационные свойства РНС, а именно – возможности задания числом и удобством его использования при расчетах.

Коэффициент $P_{ВП}$ определяет степень соответствия вырабатываемого радионавигационного параметра нормам технических условий и подготовленности личного состава, обслуживающего систему, позволяет контролировать режим работы РНС и поддерживать выработку параметра в заданных пределах в определенный период времени. Состоит из следующих показателей:

- а) показателя относительной продолжительности времени возможности снятия отсчетов (коэффициент возможности снятия отсчетов)

$$P_o = 1 - \frac{n_{п}}{n}, \quad (1)$$

где $n_{п}$ – количество пропущенных отсчетов вследствие потери синхронизации из-за различного рода помех, сбоев и т. п.,

n – общее количество отсчетов в течение заданного промежутка времени;

- б) показателя обеспеченности разрешения многозначности

$$P_p = 1 - \frac{t_{н}}{t_{\Sigma}}, \quad (2)$$

где $t_{н}$ – суммарное время работы РНС, в течение которого многозначность не разрешается (ч),

t_{Σ} – общее время работы РНС (наработка) в течение заданного периода (ч).

Критерием невозможности разрешения многозначности служит отклонение отсчетов от пределов установленных норм на величину, соответствующую полуширине фазовой дорожки и более;

- в) показателя точности выработки радионавигационного параметра

$$P_T = \Phi_0(z), \quad (3)$$

где $\Phi_0(z)$ – функция Лапласа, показывающая вероятность появления погрешности, не входящей за заданные пределы (от 0 до $\pm \Delta_{зад}$).

Аргументом для входа в таблицу служит нормированная погрешность:

$$z = \frac{\Delta_{\text{зад}}}{\sigma}, \quad (4)$$

где $\Delta_{\text{зад}}$ – допустимая средняя квадратическая погрешность отклонения отсчетов от калибровочных;

σ – среднее квадратическое отклонение фактических отсчетов от заданных калибровочных значений.

Здесь $\sigma = \sqrt{\frac{\sum \gamma^2}{n_t}}$, где γ – отклонение каждого отсчета от среднего за данный период времени,

рассчитываемое по результатам наблюдений; n_t – фактическое количество отсчетов, снятых в заданный период времени. Тогда

$$P_{\text{ВП}} = P_{\text{О}} P_{\text{Р}} P_{\text{Т}}. \quad (5)$$

Все необходимые для расчета коэффициента $P_{\text{ВП}}$ величины n , $n_{\text{п}}$, $t_{\text{н}}$, t_{Σ} , n_t , γ , $\Delta_{\text{зад}}$ выбираются из аппаратного журнала и формуляра.

Коэффициент $P_{\text{ВП}}$ является в некотором роде универсальным и позволяет проанализировать работу каждой станции и РНС в целом за любой период времени, в том числе и за сутки.

Начальник системы по коэффициентам $P_{\text{ВП}}$, рассчитанным для каждой станции, производит сравнительную оценку работы станций по выработке и качеству поддержания радионавигационного параметра и рассчитывает общий коэффициент $P_{\text{ВП}}$ всей РНС как среднюю величину между коэффициентами оцениваемых станций.

Коэффициент оперативной готовности $P_{\text{ОГ}}$ состоит из следующих показателей:

Показателя безотказности $P_{\text{Б}}$, определяющего вероятность безотказной работы в заданный промежуток времени, рассчитываемой по формуле:

$$P_{\text{Б}} = e^{-\frac{T_{\text{Р}}}{T_{\text{О}}}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{Р}}$ – заданный период работы, ч,

$T_{\text{О}}$ – средняя наработка на отказ за весь рассматриваемый период, ч.

Здесь $T_{\text{О}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{u_i}}{n_0}$, где t_{u_i} – наработка между отказами; n_0 – количество отказов.

Показателя технической готовности $P_{\text{Т}}$, характеризующего такие качества системы, как безотказность, ремонтпригодность и способность личного состава, ее обслуживающего, качественно и своевременно производить профилактический ремонт, рассчитываемого по формуле:

$$P_{\text{Т}} = 1 - \frac{T_{\text{В}} + T_{\text{ПП}}}{T_{\text{В}} + T_{\text{ПП}} + T_{\text{И}}}, \quad (9)$$

где $T_{\text{В}}$ – суммарное время восстановления системы после отказов;

$T_{\text{ПП}}$ – суммарный перерасход времени, запланированного на профилактический ремонт за период эксплуатации;

$T_{\text{И}}$ – суммарное время исправной работы системы между отказами.

Тогда

$$P_{\text{ОГ}} = P_{\text{Б}} P_{\text{Т}}. \quad (10)$$

Все данные, необходимые для расчета коэффициента оперативной готовности, выбираются из аппаратного журнала и формуляра.

С помощью коэффициента оперативной готовности оценивается эффективность эксплуатации РНС за период, соразмерный со средней наработкой на отказ или значительно меньший, чем эта наработка, т. е. за такое время, оценка вероятности за которое не теряет смысла.

Специалистам обслуживающих организаций целесообразно производить оценку эксплуатации РНС дополнительно по коэффициенту исправного действия $P_{ид}$, показывающего отношение времени исправной работы системы (суммарная наработка между отказами) ко всему периоду, за который происходит оценка эффективности эксплуатации по формуле:

$$P_{ид} = \frac{T_{и}}{T}, \quad (12)$$

где $T_{и}$ – суммарное время исправной работы системы между отказами (ч);
 T – рассматриваемый период эксплуатации (ч).

Расчет эффективности эксплуатации РНС РС-10.

Рассчитаем коэффициент качества выработки и поддержания радионавигационного параметра $P_{ВП}$ и произведем сравнительную оценку работы станций ВМ1 и ВМ2 РНС РС-10 по этому показателю за период с 09 ч 00 мин 9 сентября по 12 ч 00 мин 23 сентября.

Данные аппаратного журнала РНС РС-10 (для ВМ1 и ВМ2 соответственно):

1. Суммарное время работы в течение рассматриваемого периода: $T_1 = 339$ ч, $T_2 = 339$ ч.
2. Количество отсчетов по ВМ1 и ВМ2 при метке системного времени 30 мин: $n_1 = 678$; $n_2 = 678$.
3. Количество пропущенных отсчетов: $n_{П1} = 156$; $n_{П2} = 123$.
4. Суммарное время работы РНС, в течение которого многозначность не разрешалась (отклонение текущих отсчетов контрольных фазовращателей от эталонных при установленном интервале усреднения 30 мин): $n_{Н1} = 7$ ч; $n_{Н2} = 5$ ч.

Допустимая средняя квадратическая погрешность отклонения отсчетов от калибровочных (выбрано из формуляра станции при работе на основной частоте f_1): $\Delta_{зад} = \pm 0,6$ мкс.

Расчет средних квадратических отклонений фактических отсчетов от заданных (допустимых) в аппаратуре станций предусмотрено автоматически на интервале усреднения, равного одному периоду метки системного времени (в нашем случае 30 мин) по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \gamma^2}{n_t}},$$

где γ – отклонение каждого отсчета от среднего за данный период времени, рассчитываемое аппаратурой станции по результатам наблюдений;

n_t – фактическое количество отсчетов, снятых в заданный период времени:

$$\sigma_1 = 0,32 \text{ мкс}; \quad \sigma_2 = 0,31 \text{ мкс}.$$

На основании статистических данных, полученных в ходе эксплуатации радионавигационной системы, рассчитаем для станций ВМ1 и ВМ2:

– показатели относительной продолжительности времени возможности снятия отсчетов (коэффициент возможности снятия отсчетов) по формуле:

$$P_o = 1 - \frac{n_{п}}{n},$$

где $n_{п}$ – количество пропущенных отсчетов вследствие потери синхронизации из-за различного рода помех, сбоев в работе;

n – общее количество отсчетов в течение заданного промежутка времени:

$$P_{o_1} = 1 - \frac{156}{678} = 0,77; \quad P_{o_2} = 1 - \frac{123}{678} = 0,82,$$

- показатель обеспеченности разрешения многозначности по формуле:

$$P_p = 1 - \frac{t_H}{t_\Sigma}$$

где t_H – суммарное время работы РНС, в течение которого многозначность не разрешается (ч);
 t_Σ – общее время работы РНС (наработка) в течение заданного периода (ч):

$$P_{p_1} = 1 - \frac{7}{339} = 0,98; \quad P_{p_2} = 1 - \frac{5}{339} = 0,985;$$

- нормированные погрешности отсчетов (фактические средние квадратические погрешности в долях допустимой погрешности) по формуле:

$$z = \frac{\Delta_{\text{зад}}}{\sigma} \quad z_1 = \frac{0,6}{0,32} = 1,875; \quad z_2 = \frac{0,6}{0,31} = 1,935;$$

- для рассчитанных нормированных погрешностей показатели точности выработки радионавигационного параметра станций ВМ1 и ВМ2 будут равны:

$$P_{T_1} = 0,55; \quad P_{T_2} = 0,85;$$

- рассчитаем коэффициенты качества выработки и поддержания радионавигационного параметра станций ВМ1 и ВМ2 по формуле:

$$P_{\text{ВП}} = P_O P_P P_T;$$

$$P_{\text{ВП}_1} = 0,77 \cdot 0,98 \cdot 0,55 = 0,415; \quad P_{\text{ВП}_2} = 0,82 \cdot 0,985 \cdot 0,85 = 0,686.$$

Определяем обобщенный коэффициент эффективности эксплуатации РНС РНС-10, используя рассчитанные выше коэффициенты качества выработки и поддержания радионавигационного параметра $P_{\text{ВП}_1}$ и $P_{\text{ВП}_2}$ и данные формуляра по профилактическому ремонту за месяц (720 ч).

Данные формуляра:

- продолжительность наработки между отказами (в часах): $t_{и_i} = 92; 76; 89; 67; 98$.
- количество отказов $n_0 = 5$;
- продолжительность восстановления систем после каждого отказа (ч) $t_{в_i} = 9; 3; 6; 4,5; 8$.
- суммарное время, затраченное на профилактический ремонт сверх норм, установленных регламентом и Планом поддержания оперативно-технической готовности (суммарный перерасход времени) $T_{\text{ПП}} = 3$ ч;
- суммарное время исправного действия системы за рассматриваемый период $T_{и} = 720 - 30,5 = 689,5$ ч.

По результатам выборки из формуляра рассчитываем коэффициент оперативной готовности, для чего:

- по формуле рассчитываем среднюю наработку на отказ:

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n t_{и_i}}{n_0},$$

где $t_{и_i}$ - наработка между отказами,
 n_0 - количество отказов,

$$T_o = \frac{689,5}{5} = 137,9 \text{ ч};$$

- рассчитываем показатель безотказной работы за сутки (24 ч):

$$P_6 = e^{-\frac{T_p}{T_0}} = e^{-\frac{24}{137,9}} = 0,844,$$

где T_p – заданный период работы (ч),

T_0 – средняя наработка на отказ за весь рассматриваемый период (ч);

- по формуле рассчитываем показатель технической готовности:

$$P_7 = 1 - \frac{T_B + T_{ПП}}{T_B + T_{ПП} + T_{И}},$$

где T_B – суммарное время восстановления системы после отказов,

$T_{ПП}$ – суммарный перерасход времени, запланированного на профилактический ремонт за период эксплуатации,

$T_{И}$ – суммарное время исправной работы системы между отказами,

$$P_7 = 1 - \frac{30,5 + 3}{30,5 + 3 + 689,5} = 0,953.$$

- по формуле рассчитываем коэффициент оперативной готовности:

$$P_{ОГ} = P_6 \cdot P_7 = 0,844 \cdot 0,953 = 0,804.$$

По величине рассчитанных коэффициентов качества выработки и поддержания радионавигационных параметров $P_{ВП_1}$ и $P_{ВП_2}$ рассчитываем общий для системы коэффициент качества выработки и поддержания радионавигационного параметра:

$$P_{ВП} = \frac{P_{ВП_1} + P_{ВП_2}}{2} = \frac{0,415 + 0,686}{2} = 0,55.$$

Коэффициент исправного действия $P_{ИД}$, показывающего отношение времени исправной работы системы (суммарная наработка между отказами) ко всему периоду, за который происходит оценка эффективности эксплуатации по формуле:

$$P_{ИД} = \frac{T_{И}}{T} = \frac{689,5}{720} = 0,96.$$

Рассчитаем обобщенный коэффициент эффективности эксплуатации радионавигационной системы РС-10:

$$P_{\Sigma} = P_{ОГ} \cdot P_{ВП} = 0,804 \cdot 0,55 = 0,442.$$

Итого, сравнительный анализ коэффициентов качества выработки и поддержания радионавигационного параметра РНС РС-10 ($P_{ВП_1} = 0,415$; $P_{ВП_2} = 0,686$) показывает, что станция ВМ2 работала более стабильно, вырабатываемый ею радионавигационный параметр в большей степени соответствует установленным нормам.

Сравнение эффективности эксплуатации по коэффициенту исправного действия $P_{ИД}$ дает возможность в целом оценить работу обслуживающего персонала по поддержанию РНС в работоспособном состоянии с учетом простоев не только по причине отказов аппаратуры, перерасхода времени, отпущенного на запланированные профилактические мероприятия, но и по дру-

гим причинам, в частности организационного характера, например отсутствия заявок на использование (для РНС, работающих по заявкам) [1].

Анализ показателей эффективности эксплуатации по коэффициентам оперативной готовности $P_{ог}$ и исправного действия $P_{ид}$ дает возможность принимать меры организационного характера через специалистов обслуживающей организации по регулированию потоков заявок на использование РНС, а также по повышению уровня квалификации и ремонтной подготовки обслуживающего его персонала.

Литература

1. Методика оценки эффективности эксплуатации радионавигационных систем в подразделениях гидрографической службы ВМФ. Адмиралтейский номер 9259 Главного управления навигации и океанографии МО СССР / Под ред. И.П. Курбатова. – Л., 1985. – С. 4–15, 19–21.

УДК 629.5:658.567

Ю.А. Кочнев, И.Б. Кочнева

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, 603950
e-mail: tmnnkoch@mail.ru; iringre@mail.ru*

РЕГЛАМЕНТ УТИЛИЗАЦИИ СУДНА

Обеспечение экологической безопасности при подготовке судна к утилизации требует комплексного документационного сопровождения всех технологических операций, включая демонтаж, разукрупнение, складирование, хранение и транспортировку. Данный процесс отличается высокой ответственностью и трудоемкостью. Разработка необходимой документации может проводиться двумя способами: непосредственно перед утилизацией (что характерно для судов, длительное время находившихся в отстое или затопленных), либо в течение всего жизненного цикла судна, начиная со стадии рабочего проектирования, когда определяется номенклатура применяемых материалов и оборудования для судна с конкретным строительным номером. Целесообразным представляется создание электронного регламента утилизации судна, содержащего актуальные данные о наличии и локализации материалов, а также рекомендуемые практики работы с ними. В представленном исследовании предложены система атрибутов для конечных объектов утилизации (отходов) и метод их пространственного позиционирования на судне с использованием иерархической структуры основных подсистем. Реализация динамического ведения такого регламента обеспечит повышение безопасности процессов утилизации не только на завершающей стадии жизненного цикла судна, но и при частичной утилизации отходов, образующихся в ходе работ и модернизаций. Одновременно на основе регламента могут разрабатываться технологические решения по обращению с судовыми отходами (разделке и временному хранению) перед их окончательной передачей на переработку или захоронение.

Ключевые слова: судно, утилизация, структура базы данных.

Yu.A. Kochnev, I.B. Kochneva

*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, 603950
e-mail: tmnnkoch@mail.ru; iringre@mail.ru*

SHIP RECYCLING REGULATIONS

Ensuring environmental safety when preparing a vessel for disposal requires comprehensive documentation support for all technological operations, including dismantling, unbundling, warehousing, storage and transportation. This process is characterized by high responsibility and labor intensity. The necessary documentation can be developed in two ways: immediately before disposal (which is typical for ships that have been in sediment or flooded for a long time), or during the entire life cycle of the vessel, starting from the working design stage, when the nomenclature of materials and equipment used for a vessel with a specific construction number is determined. It seems advisable to create an electronic ship recycling regulation containing up-to-date data on the availability and localization of materials, as well as recommended practices for working with them. In the presented study, a system of attributes for final disposal facilities (waste) and a method for their spatial positioning on a ship using a hierarchical structure of the main subsystems are proposed. The implementation of dynamic maintenance of such regulations will ensure an increase in the safety of disposal processes not only at the final stage of the ship's life cycle, but also during partial disposal of waste generated during work and upgrades. At the same time, technological solutions for the management of ship waste (cutting and temporary storage) can be developed on the basis of the regulations before their final transfer for processing or burial.

Key words: ship, disposal, database structure.

Процесс утилизации судов неизбежно связан с негативным воздействием на окружающую среду. Специфика и масштабы данного воздействия напрямую зависят от применяемых технологий на предприятии, занимающегося разделкой. Технологический процесс можно укрупненно

представить в виде двух этапов. На первом выполняется демонтаж оборудования, агрегатов и т. п., а на втором – оставшийся «голый» металлический корпус (в том числе и надстройка) разукрупняются с целью их дальнейшей продажи на металлолом [1], если они соответствуют ему по остаточному качеству.

Организация перечисленных работ включает обеспечение исполнителей соответствующими средствами технологического обеспечения и индивидуальной защиты. Немаловажными являются обязательные мероприятия по соблюдению норм по охране труда, к которым относятся, например, обесточивание судовых электрических сетей, обеспечение принудительной вентиляции в рабочих зонах при работе с токсичными материалами и т. п. Функции по сбору и систематизации всей необходимой для безопасного проведения работ информации должны возлагаться на инженерно-технический персонал: мастеров, начальников участков и специалистов службы охраны труда на предприятии. Для этого должны разрабатываться, например, чертежи зон экологического риска (по аналогии с чертежами взрывоопасных зон), ведомости потенциальных отходов или их аналоги [2]. В дальнейшем, в процессе эксплуатации технического обслуживания, ремонтов и модернизаций, эти документы подлежат регулярной корректировке и дополнению.

Предлагаемая структура регламента утилизации судна. В свете глобального перехода к принципам «цифровой экономики» актуальным решением является структуризация необходимых для утилизации судна документов и описательных технологий в виде некоторого электронного Регламента утилизации судна (РУС) [3], что, например, на этапах судостроения и судоремонта для поддержки технологических процессов имеет развитие в виде Электронного паспорта судна или его аналогов [4].

Одной из задач предлагаемого документа, на наш взгляд, является обеспечение быстрого и беспрепятственного доступа персонала при работах по разделке судна к основным его агрегатам. Это требование объясняется современным кадровым составом, который в подавляющем большинстве случаев обладает ограниченными знаниями в области судостроения и судоремонта. В связи с этим РУС целесообразно снабдить комплектом технологических инструкций, выполненным в максимально наглядной и интуитивно понятной форме.

Основной информацией, которая должна содержаться в регламенте, является комплект практических руководств по обращению с отходами различных уровней опасности, образующихся при разукрупнении (класс опасности по ГОСТ, пожароопасность отхода, возможность вторичного использования, требования к складированию, хранению, перевозке и т. д.). Для качественной организации работ с материалами также необходимы их физико-технические свойства: масса, габариты и другие параметры. На основе этих требований разработана структура данных для РУС, представленная на рис. 1 [3].

Архитектура системы данных РУС построена по семиуровневому принципу, обеспечивающему формирование целостного информационного пространства судна (Уровень 1). Уровень 2 иерархии включает корпус и надстройку как основные элементы, удобные с точки зрения позиционирования и привязки технологических операций к конкретным рабочим местам. На Уровне 3 выполняется дифференциация на палубы и отсеки, в которых при необходимости могут быть выделены отдельные помещения (Уровень 4).

Начальный этап утилизации, связанный с демонтажом судового оборудования, зашивок, агрегатов и т. п., организуется поэтапно в различных отсеках и помещениях судна. Для обеспечения эффективной навигации в электронной системе РУС предлагается использовать общесудовые чертежи с детализацией по основным структурным элементам (рис. 2), которые хранятся на Уровне 2. Все элементы, требующие утилизации, могут быть укрупненно представлены в виде пяти составляющих: судовые устройства, судовые системы, электрооборудование, судовая энергетическая установка (СЭУ) и корпусные конструкции, выделяемые на Уровне 5. Подсистем перечисленных частей судна (Уровень 6) имеется большое количество и, что наиболее важно, становится уникальным для каждого судна в отдельности в отличие от предыдущих пяти.

Уровень 7 представляет собой сложную структуру информации по объекту утилизации в виде схемы РУС, приведенной на рис. 1.

Заполнение данных по перечисленным компонентам на схеме в большинстве случаев «интуитивно» понятно из их названия. Однако следует отметить, что при наличии стандартизированных обозначений для компонентов РУС должны применяться именно те, которые хранятся в блоке «Базы данных типовых свойств для объектов утилизации».

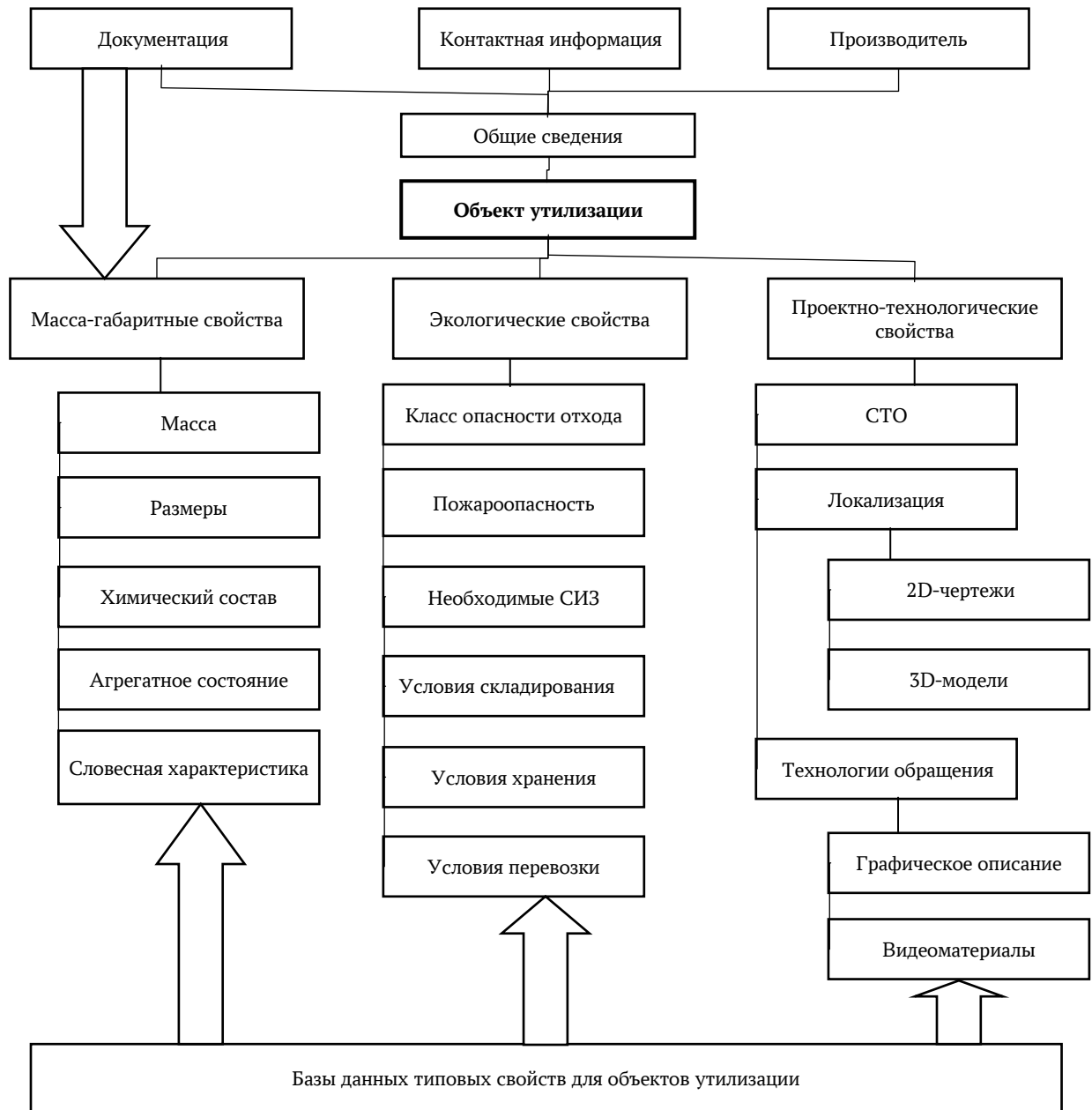


Рис. 1. Структура базы данных по объекту утилизации

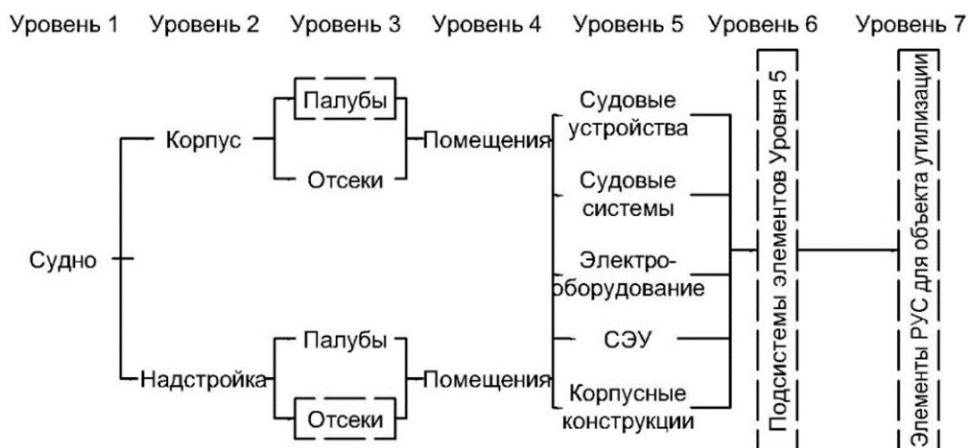


Рис. 2. Структурирование судна для подготовки информации по утилизации

Представленные данные описывают все стадии жизненного цикла такого сложного объекта, как современное судно. На последнем этапе, непосредственно перед утилизацией, в предлагаемом документе технологическому специалисту требуется зафиксировать окончательно принятые основные и вспомогательные методы и технологии утилизации в зависимости от предприятия-исполнителя. К примеру, вместо общих условий складирования необходимо определить конкретную площадку на генеральном плане завода.

Заполнение РУС необходимо выполнять по мере возможности как при строительстве, так и во время всех ремонтов, а главное модернизациях, когда материалы и оборудование не просто заменяются на аналогичные, только новые, а имеют качественное изменение. Последнее обстоятельство позволяет обеспечить хорошую практику утилизации снимаемых объектов с судна, которые тоже должны быть безопасно утилизированы или переданы на переработку, или перейти в статус отхода производства.

Систематическое применение предлагаемого регламента на всех этапах жизненного цикла судна позволяет к моменту его утилизации сформировать детализированный перечень опасных и иных материалов, оборудования, а главное получить комплекс эффективных практик по обращению с производственными отходами как в процессе утилизации, так и при проведении судоремонта.

Практическая реализация данного Регламента утилизации судов может быть выражена в следующих ключевых результатах. Во-первых, это создание удобных для исполнителя технологических инструкций, которые могут быть адаптированы в формате мобильных приложений, доступных конечному рабочему. Во-вторых, это формирование итоговой (или промежуточной при ремонте) учетной записи опасных материалов с установленными процедурами работы с ними.

Дополнительным, но немаловажным преимуществом является экономический эффект, который за счет наличия заранее подготовленных технологических карт дает возможность более рационально и дифференцированно формировать штат рабочих, что в конечном счете положительно сказывается на финансовых показателях предприятия.

Литература

1. *Кочнев Ю.А., Кочнева И.Б.* Оценка объемов образования отходов металла при утилизации судна // Научные проблемы водного транспорта. – 2021. – № 68. – С. 81–87. – DOI 10.37890/jwt.v68.211.
2. *Кочнев Ю.А., Кочнева И.Б.* Оценка и учет материалов для безопасной и экологически рациональной утилизации судна // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 2-2(44). – С. 10–15.
3. *Кочнева И.Б., Кочнев Ю.А.* Концептуальная модель регламента утилизации судна // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 2-1(68). – С. 100–106. – DOI 10.37220/MIT.2025.68.2.010.
4. Конфигурация электронного паспорта судна / *А.Э. Тимин, Е.В. Филиппов, В.В. Огнева, Е.Г. Бурмистров* // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2017. – № 51. – С. 64–68.

УДК 629.5.083.5

Д.Д. Кулько

*Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского,
Владивосток, 690003
e-mail: Kulko-2001@mail.ru*

НОВЫЕ МЕТОДЫ ОСМОТРА И МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНОЙ ЧАСТИ КОРПУСОВ СУДОВ

В статье проводится обзор существующих методов осмотра подводной части корпусов судов. Предлагаются два новых решения для выполнения задач осмотра и мониторинга технического состояния металлической обшивки подводной части корпуса судна: использование гибридного беспилотного летательного аппарата (БПЛА), способного к воздушному перемещению, погружению и визуальному осмотру, а также проведение работ на телеуправляемом необитаемом подводном аппарате (ТНПА) с электромагнитными устройствами фиксации на корпусе для детальной инспекции швов, трещин и остаточной толщины корпуса, с использованием ультразвуковой (УЗИ) дефектоскопии. На основе анализа технических решений, сравнения с аналогами и рыночными тенденциями 2025 года обосновывается целесообразность разработки этих систем.

Ключевые слова: гибридный БПЛА, телеуправляемый подводный аппарат (ТНПА), инспекция корпусов судов, электромагнит.

D.D. Kulko

*Admiral Nevelskoy Maritime State University,
Vladivostok, 690003
e-mail: Kulko-2001@mail.ru*

NEW METHODS OF INSPECTION AND MONITORING OF SHIP HULL UNDERWATER PART TECHNICAL CONDITION

This article provides a review of existing underwater hull inspection methods. Two new solutions for inspecting the metal plating of a ship underwater hull are proposed: the use of a hybrid unmanned aerial vehicle (UAV) capable of aerial navigation, submersion, and visual inspection, and the use of a remotely operated underwater vehicle (ROV) with electromagnetic hull-mounted devices for detailed inspection of seams, cracks and the static orientation of the hull, using ultrasonic flaw detection. Based on an analysis of technical solutions, comparisons with similar systems and market trends of 2025, the feasibility of developing these systems is substantiated.

Key words: hybrid UAV, remotely operated underwater vehicle (ROV), ship hull inspection, electromagnet.

Современные задачи морской промышленности и судоходства требуют регулярного осмотра и инспекции подводной части корпусов судов. Общий осмотр корпуса предназначен для выявления явных повреждений, оценки обрастания и состояния защитных покрытий, проверки наличия посторонних предметов. А более детальная инспекция необходима для выявления дефектов сварных швов, определения степени коррозии, замера толщин элементов корпуса. Традиционные методы, основанные на водолазных осмотрах или постановке судна в док, отличаются высокой стоимостью, сложной логистикой и рисками для персонала. Параллельно развиваются технологии дистанционного обследования – подводные телеуправляемые аппараты (ТНПА), однако их применение ограничено отсутствием практических методик и специализированных для этих работ ТНПА. С 2025 г. Министерством транспорта РФ вводится обязательный осмотр подводной части корпусов торговых судов, возвращающихся из-за границы, без постановки в док [1]. В этой связи актуальной является разработка отечественных систем, превосходящих существующие методы осмотра.

Целью настоящего исследования является анализ существующих методов мониторинга подводных частей судов и обоснование новых инновационных технических решений. Рассмотрены варианты использования гибридного БПЛА для общего осмотра судна и ТНПА с магнитными фиксаторами для мониторинга технического состояния металлической обшивки подводного корпуса.

Анализ существующих методов. Оценка проводилась по следующим критериям: время развертывания, время осмотра, стоимость, качество результатов и степень риска для человека. Данные собраны на основе обзора литературы и официальных сайтов с техническими параметрами и описанием водолазных работ [2–5] и ТНПА [6–8]. В таблице также представлены расчетные характеристики ТНПА с магнитными фиксаторами и гибридного БПЛА. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Критерий	Водолазный осмотр	ТНПА	ТНПА с магнитными фиксаторами	Гибридный БПЛА
Время развертывания	1,5–3 часа	1 час	1 час	30 мин
Время осмотра	5–10 мин/метр	2–4 мин/метр	2–4 мин/метр	2–4 мин/метр
Стоимость работ	30–70 тыс. руб./час	15–35 тыс. руб./час	25–55 тыс. руб./час	10–15 тыс. руб./час
Качество результатов общего осмотра	Субъективное описание и фотографии только контрольных точек	Оцифрованные данные: видео HD/4K, фото	Оцифрованные данные: видео HD/4K, фото	Оцифрованные данные: видео HD/4K, фото
Качество результатов мониторинга технического состояния	Субъективное описание, замер толщин, фото швов и повреждений среднего качества	Фото и видео швов и повреждений	Точное позиционирование, замер толщин, фото и видео швов и повреждений высокого качества	Оцифрованные данные: видео HD/4K, фото
Степень риска для человека	Высокий, непосредственная угроза жизни и здоровью	Низкий, риск не требует погружения человека	Низкий, риск не требует погружения человека	Низкий, риск не требует погружения человека

Анализ показывает, что самый популярный метод водолазного осмотра является самым затратным по времени подготовки, развертывания, выполнения работ, также он является самым дорогим и небезопасным методом. У ТНПА при детальном осмотре есть проблемы с позиционированием для точных замеров в условиях наличия подводных течений вокруг судна.

На основе анализа сформулированы требования к новым системам по ключевым параметрам. Для процедуры общего осмотра корпуса требуется оперативность развертывания, большая скорость осмотра, стабильное видео высокого качества, минимальные затраты. Для процедуры более детальной инспекции приоритетом является возможность производить высокоточные замеры толщин, состояния сварных швов и производить анализ повреждений без погружения человека. Реально достижимые характеристики для гибридного БПЛА и ТНПА с магнитным захватом представлены в табл. 1.

Гибридный БПЛА для общего визуального осмотра. Концепция гибридного БПЛА представляет собой инновационный подход, сочетающий преимущества воздушных дронов (скорость, мобильность, обзор с высоты) и подводных аппаратов (детальный осмотр под водой). В отличие от традиционных систем мониторинга и систем, использующих ТНПА, требующих отдельной инфраструктуры, гибридный БПЛА самостоятельно подлетает к судну, приводняется на поверхность воды, погружается и проводит осмотр, после чего возвращается к точке взлета. Это особенно подходит для быстрого общего визуального осмотра корпусов судов на наличие видимых повреждений, обрастаний или посторонних объектов.

Основные технические особенности аванпроекта гибридного дрона

Корпус и конструкция: цилиндрическая форма из легких композитов.

Двигатели и переход между средами воздух – вода: четыре складных луча с изменяемым углом атаки и высокооборотистыми электродвигателями. Для подводного режима наиболее оптимальным является вариант 5 низкооборотистых двигателей. Погружение обеспечивается балластной системой.

Система связи и навигации: отстегиваемый буй с антеннами (GPS, радиосвязь, видео) на оптоволокне из прочной нити для связи на глубине. Буй обеспечивает дополнительную положительную плавучесть на поверхности.

Энергосистема и автономность: LiPo АКБ, обеспечивающая 30 мин в воздухе и 30 мин под водой.

В 2025 г. такие системы, как Naviator, уже демонстрируют переход в пещерных средах, подтверждая потенциал для коммерческого применения в инспекции. Подробные характеристики представлены на официальном сайте компании [9].

ТНПА с электромагнитными устройствами фиксации для детальной инспекции. Для мониторинга технического состояния металлических листов подводной части обшивки корпуса судна (осмотр швов, УЗИ-замеры остаточной толщины, обнаружение микротрещин) предлагается ТНПА, сочетающий классическую схему перемещения с винтами и оснащенный электромагнитными держателями для локальной фиксации на корпусе судна, обеспечивая стабильность во время измерений.

Технические детали: классическая схема ТНПА, обеспечивающая мобильность и маневренность для подхода к судну и общего перемещения вдоль корпуса.

Электромагнитные фиксаторы ТНПА на основе электромагнитов, с силой удержания 50–100 кг, регулируемой величиной усилия. Электромагниты позволяют быстро отключать фиксацию, обеспечивая высокую скорость перемещения ТНПА по корпусу судна. Фиксация ТНПА необходима только для функционала измерения остаточной толщины корпуса судна и при измерении параметров микротрещин.

Оборудование и управление: HD-камера, УЗИ-дефектоскоп, оптическая камера высокого разрешения, лидар.

В сравнении с аппаратом DT640 MAG (оснащен магнитными колесами для постоянного передвижения по корпусу судна), предлагаемая система является гибридной по способу перемещения по корпусу судна: винты для быстрого перемещения без контакта с корпусом и перемещение на магнитных фиксаторах при необходимости закрепления на корпусе. Технические характеристики DT640 MAG предоставлены на официальном сайте [10].

Сравнительный анализ с аналогами гибридного БПЛА. В табл. 2 приведены результаты сравнения известных к настоящему времени разработок гибридных БПЛА с предлагаемым для разработки гибридным дроном для осмотра подводных частей судна.

Все параметры аппаратов были взяты с официальных сайтов и статей [11–13].

Таблица 2

Название системы (производитель)	Скорость в воздухе (км/ч)	Скорость под водой (км/ч)	Глубина погружения (м)	Способность сохранять положения корпуса под водой	Автономность	Энергосистема	Статус
Naviator (Rutgers Univ., США)	64	6,5	> 100	Не способен	25–70 мин	Электродвигатель, Li-ion АКБ	Рабочий прототип
TJ-FlyingFish (Китай)	-	7,2	3 м	Только при отсутствии течений	6 мин – воздух + 40 мин – вода	Электродвигатель, Li-ion АКБ	Научный прототип (лабораторные тесты)
Nezha-SeaDart (Китай)	100	1,8	50	Не способен	15 мин – воздух + 22 мин – вода	Li-Ion/Diesel, электродвигатель	Полевые испытания (2024)
Loon Copter (США)	36	< 3	5	Не способен	< 30 мин	Электродвигатель, Li-Po АКБ	Испытуемый прототип (открытая вода)
Гибридный БПЛА (для осмотра корпуса судна)	> 60	8	20	Способен даже при течении 2 м/с	30 мин – воздух + 30 мин – вода	Электродвигатель, Li-Po АКБ	Аванпроект

Сравнительный анализ ТНПА с магнитной фиксацией с аналогом [10] представлен в табл. 3.

Таблица 3

Название системы (производитель)	Скорость под водой (км/ч)	Глубина погружения (м)	Способность сохранять положения корпуса под водой	Автономность (мин)	Энергосистема	Статус
DT640 MAG (crawler)	< 3	50	Постоянно зафиксирован к корпусу	до 480	Электродвигатель, Li-ion АКБ	Рабочий прототип
ТНПА с магнитными фиксаторами (предлагаемый)	5-6	50	Локальная фиксация при необходимости	Неограниченна	Электродвигатель, питание по кабелю	Аванпроект

Предложенные варианты гибридного БПЛА и ТНПА с магнитными фиксаторами положения устраняют ключевые недостатки, которыми обладают существующие системы. Гибридный БПЛА обеспечивает быстрый общий осмотр без судна сопровождения, обеспечивая самостоятельный переход воздух – вода, для динамичных миссий, а ТНПА с магнитными фиксаторами обеспечивает точную локальную фиксацию для детальной диагностики корпуса, минимизируя влияние подводных течений и повышая точность данных.

Аналитические исследования подтверждает необходимость разработки новых инновационных методов, основанных на гибридных БПЛА и ТНПА с магнитными фиксаторами. Гибридный БПЛА и ТНПА с электромагнитными устройствами фиксации обеспечивают конкурентные преимущества, делая процесс осмотра не только эффективным, но и безопасным, закладывая основу для дальнейших разработок в мониторинге подводных объектов.

Литература

1. О внесении изменений в Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений»: проект федерального закона № 159302. [Электронный ресурс]. – URL: <https://regulation.gov.ru/projects/159302/> (дата обращения: 04.09.2025).
2. White Paper 05 [Электронный ресурс]. – URL: <https://boudvanrompay.com/wp-content/uploads/2022/11/WhitePaper05.pdf> / (дата обращения: 08.09.2025).
3. SCUBA Jobs hull cleaning [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scuba.com/blog/scuba-jobs-hull-cleaning-2/> (дата обращения: 02.09.2025).
4. Underwater hull cleaning – risks and precautions [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.westpandi.com/news-and-resources/news/april-2023/underwater-hull-cleaning-risks-and-precautions-ass/> (дата обращения: 02.09.2025).
5. How long does an underwater hull cleaning take? [Электронный ресурс]. – URL: <https://beachtodaydiversandpools.com/how-long-does-an-underwater-hull-cleaning-take/> (дата обращения: 02.09.2025).
6. Hull cleaning – GreenVoyage2050 [Электронный ресурс]. – URL: <https://greenvoyage2050.imo.org/technology/hull-cleaning/> (дата обращения: 11.09.2025).
7. Hull cleaning ROV – NauticExpo [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/hull-cleaning-rov-45565.html> (дата обращения: 05.10.2025).
8. GAC’s hull cleaning ROV could save ship operators buckets of cash [Электронный ресурс]. – URL: <https://gcaptain.com/gacs-hull-cleaning-rov-could-save-ship-operators-buckets-of-cash/> (дата обращения: 22.09.2025).
9. The Naviator: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://thenaviator.com/> (дата обращения: 08.09.2025).
10. DT640 MAG Utility Crawler [Электронный ресурс] // Ocean Innovations. – URL: <https://ocean-innovations.net/companies/deep-trekker/products/utility-crawler/dt640-mag-utility-crawler/> (дата обращения: 03.10.2025).

11. Loon Copter is a drone that can also operate underwater [Электронный ресурс] // Mashable. – 2016. – URL: <https://mashable.com/2016/01/26/loon-copter-underwater-drone/> (дата обращения: 05.09.2025).

12. Tongji University holds the 1st International Conference on Unmanned Systems [Электронный ресурс] // Tongji University. – URL: <http://www.tongji.edu.cn/eng/info/1003/4633.htm> (дата обращения: 05.09.2025).

13. Chinese HAUV drone can both fly and travel underwater [Электронный ресурс] // New Atlas. – 2025. – URL: <https://newatlas.com/drones/chinese-hauv-drone-nezha-seadart/> (дата обращения: 04.10.2025).

УДК 338.22.01:629.5.083.5

Д.И. Любченко, И.А. Панкратов, А.А. Стрижаченко

*Луганский государственный университет имени Владимира Даля,
Луганск, 291034
e-mail: vottako@ranbler.ru*

ЦИФРОВОЙ РУБЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕМОНТНЫМИ ГРУППОВЫМИ КОМПЛЕКТАМИ

Статья посвящена особенностям цифровизации экономики в отношении ремонтных предприятий судоремонтной отрасли и морской авиаремонтной отрасли России. Проанализированы некоторые риски внедрения цифровых платформ в обеспечение капитального ремонта судов и корабельной (палубной) авиации. Для снижения таких рисков предложено первоначальное внедрение цифрового рубля в ту производственную деятельность, которая характеризуется достаточным запасом времени для своевременного выполнения ремонта, например, в закупки ремонтных групповых комплектов (РГК) для силовых установок. Это сокращает производственные риски по срокам выполнения заключенных на основе цифровых платформ договоров/контрактов.

Ключевые слова: предприятие, ремонт, ремонтный групповой комплект, рубль, цифровой рубль.

D.I. Lyubchenko, I.A. Pankratov, A.A. Strizhachenko

*Lugansk Vladimir Dahl State University,
Lugansk, 291034
e-mail: vottako@ranbler.ru*

DIGITAL RUBLE IN PROVIDING REPAIR PRODUCTION WITH REPAIR GROUP KITS

The article is devoted to the features of the economy digitalization in relation to repair enterprises of the ship repair industry and the marine aircraft repair industry in Russia. Some risks of introducing digital platforms to ensure the overhaul of ships and shipboard (deck) aviation are analyzed. To reduce such risks, it is proposed to introduce the digital ruble into production activities that are characterized by sufficient time for repair, for example, into the purchase of repair kits for power plants. This reduces production risks of contracts concluded with digital platforms.

Key words: enterprise, repair, repair group kit, ruble, digital ruble.

Морская отрасль России включает в себя комплекс промышленных предприятий по разработке, изготовлению, ремонту и техническому обслуживанию судов всех типов и классов, а также авиаремонтную отрасль страны, обеспечивающую судоходство технически исправной морской и палубной авиацией. Современное судостроение, эксплуатация и ремонт невозможны без авиационного сопровождения. Широкий круг задач судоходства и его обеспечения морской и палубной авиацией зависит в том числе от своевременности отправки техники в ремонт и проведения такого ремонта.

Одной из существенных, длительных по времени и в ряде случаев затратных сфер деятельности промышленных предприятий судостроения и морского авиастроения является претензионная и рекламационная работа с поставщиками и заказчиками, что регламентируется, например в [1]. Этот и иные нормативные документы предусматривают наличные и безналичные взаиморасчеты, причем безналичный расчет соответствует требованиям Центрального Банка России в части внедрения цифрового рубля в экономику государства.

Применительно к цифровизации деятельности промышленных предприятий национальной платежной системой среди прочего устанавливаются: порядок урегулирования споров и разногласий между пользователями цифрового рубля, порядок рассмотрения запросов пользователей

платформы цифрового рубля, порядок разрешения споров между участниками платежей в цифровых рублях, в том числе в условиях действия или наступления последствий от чрезвычайных ситуаций, программных сбоев и т. п. [2].

Чрезвычайные ситуации, среди которых погодные условия, техногенные катастрофы, транспортные происшествия, внешнее вмешательство, человеческий фактор, неисправное состояние техники, программные сбои и иные подобные риски наиболее актуальны для промышленных предприятий Луганской и Донецкой Народных Республик, региона Новороссии, иных приграничных к зоне боевых действий территорий, Дальнего Востока, Заполярья и других территорий Российской Федерации, подверженных высокому риску краткосрочного или длительного отсутствия электроэнергии или интернета, с помощью которых производится обмен всей необходимой информацией между предприятиями, эксплуатантами, заказчиками ремонта техники и Центробанком России. Этот и иные риски, прогнозируемые или форс-мажорные, могут требовать привлечения Согласительной комиссии от Центробанка РФ, что оговорено в Приложении 1 по [2].

С целью разрешения подобных рисков разработан документ [3], регламентирующий действия Центробанка РФ по управлению платформой цифрового рубля в рискованных и кризисных ситуациях, однако не охватывающий профильные риски в наиболее уязвимых секторах экономики. Так, например, ремонтные предприятия одновременно зависимы как от разработчиков, так и изготовителей ремонтируемых изделий. В условиях внедрения платформы цифрового рубля риски для таких предприятий, особенно в указанных выше регионах Российской Федерации, значительно возрастают.

В отличие от заводов-изготовителей, где судостроение и авиастроение требует постоянную номенклатуру комплектующих, особенность ремонтного производства любой отрасли промышленности характеризуется различными во времени объемами необходимых запасных частей и комплектующих, номенклатура и количество которых отличаются для конкретных наименований и заводских номеров ремонтируемых изделий [4, 5]. Состав РГК учитывает такую особенность ремонтного предприятия, а его заблаговременное получение предотвращает простой производства.

Одним из существующих и неустраняемых рисков для деятельности ремонтных предприятий, равно как и иных средних и крупных субъектов хозяйствования, является угроза срыва заключенных договоров/контрактов из-за несвоевременной обеспеченности производства запасными частями и комплектующими, лицензированная поставка которых осуществляется изготовителями профильной техники и посредниками. При этом даже своевременная поставка может сопровождаться выявлением в процессе входного контроля брака, некомплекта, вышедших гарантийных сроков и т. п., что приводит к форс-мажорным последствиям необеспеченности текущих и запланированных потребностей судового и авиационного ремонтного производства [6].

Вариантом решения указанной проблемы и способом снижения рисков для ремонтных предприятий является заказ и получение РГК, которые в [7] обозначены как групповые ремонтные ЗИП-Р (комплекты запасных частей, имущества и принадлежностей для ремонта). Однако в [7], в том числе и в [8, 9] фактические методы расчетов комплектов ЗИП-Р не рассматриваются.

РГК формируются заводами-изготовителями по группам однотипных изделий как по своему усмотрению, так и по заявкам от ремонтных организаций [10]. Применительно к судоремонту в авиационном ремонтном производстве для морской (палубной) авиации РГК используются достаточно часто, а потому они заказываются у поставщиков заблаговременно. Оплата ремонтным предприятием поставки РГК осуществляется безналичным расчетом, что в условиях перехода на цифровую экономику способствует успешному внедрению цифрового рубля в производственный процесс.

РГК комплектуется на определенное количество однотипных изделий. Например, одно РГК на 15 единиц изделий «АА» обозначается как РГК 1:15 на изд. «АА». На партию 50 ед. изделий «ББ» – РГК 1:50 на изд. «ББ». При этом, исходя из своей статистики брака, необходимую комплектность РГК 1:Х ремонтное предприятие может заказывать по своим потребностям, исходя из прогнозируемой годовой программы ремонта изделий «АА» и/или «ББ» или на ожидаемый от заказчика объем работ на ремонт партии изделий «АА» и/или «ББ».

В условиях цифровизации экономики поставка РГК может осуществляться полной или предварительной оплатой цифровыми рублями в виде безналичного расчета. Помимо РГК ремонтное предприятие зачастую дополнительно закупает у лицензированных посредников необходимые отдельные запасные части без заранее фиксированной комплектации, так называемой «россыпью». Закупка «россыпи» также может осуществляться через национальную цифровую платформу.

Как показывает практика заводского ремонта авиатехники наземной и морской (палубной) авиации, в процессе использования РГК или «россыпи» на складах ремонтного предприятия все равно может образовываться дефицит запасных частей. Зачастую такой дефицит от перерасхода или неприемки входным контролем закупленных запчастей становится проблемным для незавершенного производства и срывает своевременность выполнения ремонтным предприятием своих обязательств.

Вездесущность претензий и рекламаций от заказчиков, в том числе в условиях цифровизации экономики особенно усугубляется из-за форс-мажорного израсходования заказанной номенклатуры запасных частей из РГК или «россыпи». В таких обстоятельствах риск нехватки востребованных запасных частей критичен, а их поставка может зависеть, по сравнению с обычным безналичным расчетом, от дополнительных «цифровых» согласований как между сторонами договорных отношений, а в ряде проблемных ситуаций – и с привлечением Центробанка России как государственного регулятора цифровой платформы и движения цифрового рубля.

Согласно [3] в ряде таких случаев вступает в работу Согласительная комиссия Центробанка РФ и иные механизмы регулирования оборота цифрового рубля, что требует дополнительного времени в ограниченных условиях действия договорных обязательств – и особенно по претензиям и рекламациям, материально-техническое обеспечение работ по которым будет затруднено при возникновении перебоев с электроэнергией и/или интернетом в зоне расположения предприятия, заказчика ремонта техники или самого Центробанка России.

На текущем этапе развития цифровой экономики общие и профильные риски, по которым действия промышленности и заказчиков четко регламентировать государственной нормативной документацией невозможно, видится целесообразным поэтапное и сегментное внедрение платформы цифрового рубля, например, в тех сферах деятельности промышленных предприятий, где обеспечивается достаточный временной интервал, снижающий риски штрафов и иных последствий за невыполнения договорных обязательств, оформленных на основе цифровых платформ. Наиболее это актуально для ремонтной сети России, где сроки выполнения среднего, капитального ремонта или устранения рекламаций, особенно по силовым установкам судов и морской (палубной) авиации, существенно меньше, чем длительность ремонта самих судов.

Внедрение в промышленный сектор экономики государства цифровой платформы требует поэтапного распространения цифрового рубля, сфера действия которого на начальном этапе должна охватывать наименее критичные стороны деятельности промышленных предприятий, где риски для промышленного производства минимальны и в то же время достаточны для дальнейшего совершенствования цифровой экономики в бюджетобразующих отраслях государства, среди которых морская отрасль России занимает одно из важнейших позиций в экономике страны.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 10002-2020 Менеджмент качества. Удовлетворенность потребителей. Руководящие указания по управлению претензиями в организациях. Взамен ГОСТ 10002-2007. Утв. и введ. в действие Приказом Федеральн. агентства по технич. регулиров. и метрологии от 28.08.2020 г. № 578-ст. – М.: Стандартинформ, 2020. – 32 с.
2. Положение «О платформе цифрового рубля» от 03.08.2023 г. № 820-П Центрального Банка России [Электронный ресурс]. – URL: <https://cbr.ru/Queries/UniDbQuery/File/90134/2858>.
3. Указание «О порядке управления рисками и непрерывностью функционирования платформы цифрового рубля» от 07.10.2024 г. № 6898-У Центрального Банка России [Электронный ресурс]. – URL: <https://cbr.ru/Queries/UniDbQuery/File/90134/6266>.
4. Любченко Д.И., Данилейченко А.А., Брянцев М.А. Двигатели летательных аппаратов. Человеческий фактор в авиационной державе: Учебник для вузов. – Луганск: Луганский государственный университет имени Владимира Даля, 2024. – 264 с. – ISBN 978-5-605-30435-7. – EDN NWMXGH.
5. Любченко Д.И., Чеботарев Д.Г., Зиньковский Д.В. Расчет прогнозирования быстроты исчерпания ресурсов деталей изделий применительно к остатку межремонтных и назначенных ресурсов объектов их постановки // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2024. – № 1 (1). – С. 32-40. – EDN ICEUZW.

6. ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Взамен ГОСТ 18322-78. введ. в действ. Приказом Федеральн. агентства по технич. регулиров. и метрологии от 28.03.2017 г. № 186-ст. – М.: Стандартиформ, 2017. – 16 с.

7. ГОСТ 27.507-2015 Надежность в технике. Запасные части, инструменты и принадлежности. Оценка и расчет запасов / Введен впервые. Введ. в действ. Приказом Федеральн. агентства по технич. регулиров. и метрологии от 01.03.2017 г. № 580-ст. – М.: Стандартиформ, 2016. – 49 с.

8. *Паньковский Б.Е., Полесский С.Н.* Обзор существующих методик расчета и оптимизации комплектов запасных частей и инструментов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2016. – № 1. – С. 450–455. – EDN XADAOT.

9. *Паньковский Б.Е.* Особенности оценки и оптимизации комплекта ЗиП // Материалы Межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского: (Москва, 17–29 февраля 2016 г.) / Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». – М.: Московский ин-т электроники и математики НИУ ВШЭ, 2016. – С. 126–127. – EDN WFFKNJ.

10. *Кочубей В.В., Галин А.В., Любченко Д.И.* Информационные технологии в разработке РГК / Информационные технологии в экономике: Материалы III Междунар. науч.-практ. Интернет-конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (27-28 марта 2024 г.) [Электронное издание] / Под ред. А.В. Велигуры. – Луганск: Изд-во ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2024. – М.: Перо. – 1050 с. – 0,5 Мб. – ISBN 978-5-00244-360-4.

УДК 629.5.072

Д.Д. Павлов, Р.И. Изотченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: 23422309a@gmail.com*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ НАХОЖДЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИНИИ В СУДОВОЖДЕНИИ

С давних времен борьба за благополучие, определяемое в первую очередь ресурсами, побуждала людей заниматься мореплаванием как самым эффективным способом вести торговлю и добычу всякого рода ресурсов. Для успешного ведения мореплавания всегда были необходимы знания, в первую очередь в области математики: от элементарной арифметики до сложной геометрии. Можно даже сказать, что развитие математики в большой степени определялось таким образом, чтобы она могла быть полезной в решении задач мореплавания в некоторые исторические периоды. В дальнейшем также произошло и с физикой. Даже сам факт возникновения таких наук, как философия, математика, физика, астрономия непосредственно связан с мореплаванием: в полной мере самым первым философом в истории человечества был древнегреческий мореплавец Фалес Милетский, единственным завершённым трудом которого стала «Морская астрономия», где описывалось, как с помощью звезд вести судно. Фалес Милетский был, можно сказать, самым первым математиком и физиком. В дальнейшем эта тенденция тесной взаимосвязи науки и мореплавания продолжилась. К примеру, те же мореплаватели времен Колумба полагались на новейшие знания в различных научных областях и на передовые по тем временам технологии. Со временем за решение различных проблем навигации правители самых разных передовых морских держав стали назначать огромные награды. Примеров этих проблем можно привести очень много, но всегда важнейшей задачей навигации была задача нахождения геодезической (кратчайшей линии) на поверхности Земли в различных ее моделях.

Ключевые слова: навигация, геодезическая, модели Земли.

D.D. Pavlov, R.I. Izotchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: 23422309a@gmail.com*

MATHEMATICAL METHODS FOR FINDING GEODETIC LINE IN NAVIGATION

Since ancient times, the struggle for well-being, determined primarily by resources, has encouraged people to engage in navigation as the most effective way to trade and extract all kinds of resources. Knowledge has always been necessary for successful navigation, primarily in the field of mathematics: from elementary arithmetic to complex geometry. One might even say that the development of mathematics was largely determined by the fact that it could be useful in solving navigation problems in some historical periods. Later, the same thing happened with physics. Even the very fact of the emergence of such sciences as philosophy, mathematics, physics, astronomy is directly related to navigation: the very first philosopher in the history of mankind was the ancient Greek navigator Thales of Miletus, whose the only completed work was "Marine Astronomy", which described how to navigate a ship using the stars. Thales of Miletus was, in a modern way, also the very first mathematician and physicist. But in future, this trend of the close relationship between science and navigation continued. For example, the same navigators of the time of Columbus relied on the latest knowledge in various scientific fields and on advanced technologies at that time. Over time, the rulers of various advanced maritime powers began to assign huge rewards for solving various navigation problems. There are many such examples, but the most important task of navigation has always been the task of finding the geodesic (shortest line) on the Earth's surface in its various models.

Key words: navigation, geodetic, Earth models.

Решение задачи нахождения геодезической зависит в первую очередь от того, какую модель Земли мы рассматриваем. С давних времен было много представлений о форме Земли. Самое первое более-менее правдоподобное представление это то, что Земля – шар. Это представление, выдвинутое еще Пифагором, было господствующим на протяжении около двух тысячелетий, пока Исаак Ньютон не выдвинул гипотезу, что Земля имеет форму слегка сжатого у полюсов эллипсоида вращения, что обусловлено действием центробежных сил инерции, стремящихся растянуть Землю во все стороны от оси вращения. Ближе к XX в. стали рассматривать модель Земли в форме геоида – форма Земли, обладающая свойством перпендикулярности к вектору ускорения свободного падения в каждой точке своей поверхности, будь она точкой поверхности реального Мирового океана или будь она точкой мысленного его продолжения под поверхностью материков. Максимально общий математический анализ удастся возможным привести для моделей «Земля – шар» и «Земля – эллипсоид вращения». Для геоида математический анализ получается с большим трудом, и только для каких-то частных и конкретных задач. В этой статье кратко рассмотрены математические основы решения задачи о нахождении геодезической на поверхности Земли в двух ее моделях: «Земля – шар» и «Земля – эллипсоид вращения»

Решение задачи о нахождении геодезической на поверхности Земли исторически впервые произошло для модели «Земля – шар». Эта модель крайне проста с точки зрения того факта, что каждая точка поверхности Земли во многом геометрически эквивалентна всякой прочей точке этой же поверхности. Вопрос нахождения геодезической при данной модели свелся к сферической тригонометрии. Если посмотреть на сферу и попытаться на ней найти кратчайшую кривую

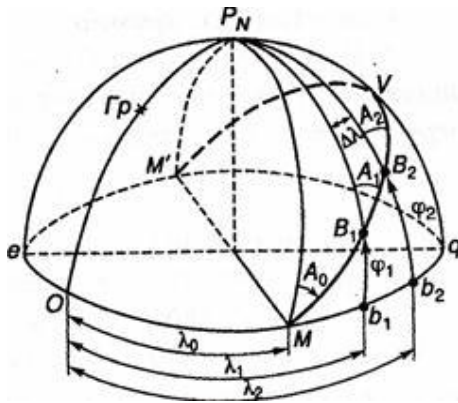


Рис. 1. Геодезическая на сфере

из одной данной точки в другую данную точку, то достаточно легко интуитивно понять, что эта кривая – есть дуга большого круга, который образуется при сечении сферы плоскостью, проходящей через две данные точки и через центр сферы. И эта дуга может рассматриваться как одна из сторон сферического треугольника, у которого две другие стороны – дуги меридианов, проходящих через две данные точки, эти дуги тоже дуги больших кругов (рис. 1). Все формулы, необходимые для расчетов сферических треугольников, могут быть выведены как с использованием евклидовой геометрии, так и с использованием аналитической геометрии, что будет намного легче. А именно формула длины геодезической между двумя данными точками с известными географическими координатами

(широта и долгота) выводится через скалярное произведение радиус-векторов, проведенных из центра сферы к этим точкам. Теорема синусов для сферического треугольника получается, если рассмотреть векторное произведение тех же радиус-векторов. Используя два этих результата, можно получить все остальные формулы, уравнения сферической тригонометрии (формулу пяти элементов, сферическую теорему котангенсов) и в том числе собственно уравнение геодезической. В итоге для уравнения геодезической, или, как ее называют иначе, ортодромии, имеет вид:

$$\cos \frac{s}{R} = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1),$$

$$\cot A_1 = \cos \varphi_1 \tan \varphi_2 \csc(\lambda_2 - \lambda_1) - \sin \varphi_1 \cot(\lambda_2 - \lambda_1),$$

$$\cot A_2 = -\tan \varphi_1 \cos \varphi_2 \csc(\lambda_2 - \lambda_1) - \sin \varphi_2 \cot(\lambda_2 - \lambda_1).$$

Таким образом, для случая модели «Земля – шар» удастся найти уравнения геодезической в элементарных функциях, и получаются точные значения.

Решение задачи для случая эллипсоида уже будет обладать некоторой спецификой. Изучая этот вопрос, люди быстро интуитивно поняли, что геодезическую на эллипсоиде в общем случае нельзя представить как линию, образованную сечением поверхности эллипсоида некоторой плоскостью, проходящей через две данные точки на этой поверхности и проходящей через неко-

торую третью точку, как это было в случае со сферой, где эта точка была центром сферы. То есть стало ясно, что геодезическая на эллипсоиде даже не является замкнутой – совершив полный оборот вокруг эллипсоида, вы не вернетесь в ту же точку, откуда начали, тем же курсом. Стало ясно, что любая, даже самая прогрессивная, тригонометрия не сможет дать полное решение этой задачи. Для решения этой задачи использовали такой принцип, как «принцип экстремального действия». Это принцип возник в классической механике, и он утверждал, что все механические явления происходят по таким законам в нашей Вселенной, чтобы время движения тел из одной фиксированной точки в другую фиксированную точку, при прочих равных условиях, было минимальным по времени, то есть чтобы тела двигались по кратчайшим. В дальнейшем обнаружилось, что вообще абсолютно все законы Вселенной удовлетворяют этому принципу: все законы Вселенной должны быть такими, чтобы некоторые величины, которые они описывают, имели максимум или минимум. И еще со времен классической механики был разработан математический метод, необходимый для нахождения «уравнений кратчайших» во всяком контексте: будь то уравнение кратчайшей по времени в классической механике или будь то уравнение кратчайшей на любой поверхности, в том числе поверхности эллипсоида. Выяснилось также, что все физические явления обладают некоторой спецификой, что и у механических явлений, – математический аппарат для всех них оказался, в сущности, одним и тем же. Этот аппарат позволил «угадывать» законы самых разных физических явлений просто из того факта, что эти законы должны быть такими, чтобы давать «кратчайшие», и из прочих других, практически очевидных, фактов, которые всегда легко найти. Так возник «закон всех законов Вселенной».

Согласно этому методу всякому процессу, где есть функции, его описывающие, соответствует некоторая величина, характеризующая дальнейшее развитие этого процесса и определяемая самим характером этого процесса. Ее называют лагранжианом [1]. В классической механике она является функцией от координат и скоростей, в то время как те есть функции от времени, как функции от параметра. Лагранжиан интегрируется по параметру, от которого зависят величины, от которых зависит он сам, и так получается величина, именуемая действием. Это действие должно быть минимальным, чтобы дать уравнения кратчайшей как раз по тому параметру, упомянутому выше. Для классической механики этот параметр это время. Для классической механики уравнения кратчайшей даются условием:

$$\delta S = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{L}(q, \dot{q}) dt = 0,$$

где S – действие,
 \mathcal{L} – лагранжиан,
 q и \dot{q} – обобщенные координаты и скорости,
 t – время.

И это есть условие экстремума интегрального функционала. Из этой формулировки математически получается:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q} = 0.$$

Это уравнение Эйлера – Лагранжа. И мы, подставляя в него \mathcal{L} , получаем уравнения кратчайшей, в любой задаче, не только классической механики. Из этого уравнения и однородности времени следует формула полной механической энергии, которая сохраняется во времени, что также называется интегралом движения. Это есть:

$$E = \dot{q} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}} - \mathcal{L} = \text{const.}$$

Рассмотрим теперь задачу нахождения геодезической на поверхности эллипсоида. Если разобратся, то мы увидим, что она математически эквивалентна задаче нахождения физических законов при абсолютно любом физическом процессе. Действительно, вместо времени за пара-

метр можно взять долготу, вместо обобщенных координат и скоростей широту и ее производную по долготе. В качестве величины действия окажется величина длины пути от одной точки поверхности эллипсоида до другой. И принцип экстремального действия будет здесь давать уравнения кратчайшей по длине пути на поверхности – искомую геодезическую. По аналогии с механикой мы получим:

$$\delta s_{12} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \mathcal{L}(\varphi, \dot{\varphi}) d\lambda = 0,$$

$$E = \dot{\varphi} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\varphi}} - \mathcal{L} = \text{const.}$$

Теперь достаточно определить вид \mathcal{L} , чтобы найти уравнение геодезической. Сделаем это, рассмотрев бесконечно маленькие треугольники, получающиеся при перемещении из одной точки поверхности эллипсоида в другую, бесконечно близкую (рис. 2):

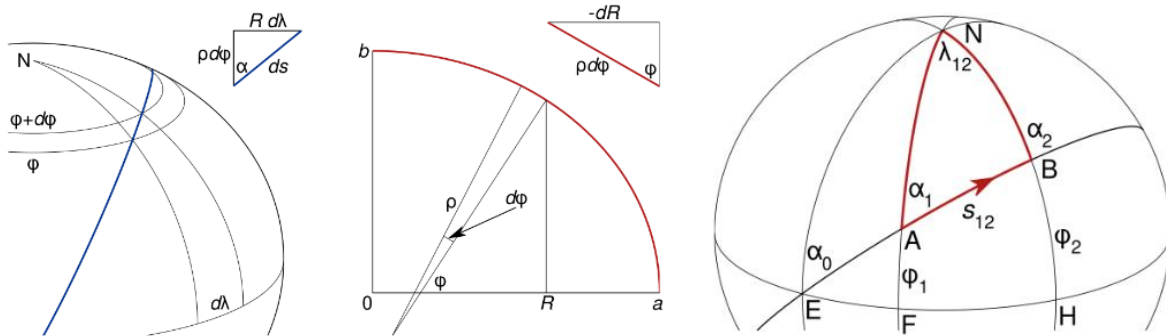


Рис. 2. Дифференциальные элементы на поверхности эллипсоида и геодезическая на нем

Из рис. 2 видно, что $ds = \sqrt{\rho^2 d\varphi^2 + R^2 d\lambda^2} = \sqrt{\rho^2 \dot{\varphi}^2 d\lambda^2 + R^2 d\lambda^2},$

$$s_{12} = \int_1^2 ds = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \sqrt{\rho^2 \dot{\varphi}^2 + R^2} d\lambda \equiv \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \mathcal{L}(\varphi, \dot{\varphi}) d\lambda.$$

Из тождества выше видно, чему равен лагранжиан:

$$\mathcal{L} = \sqrt{\rho^2 \dot{\varphi}^2 + R^2}.$$

Подставляя его в формулу, которая в классической механике служит для нахождения полной механической энергии, мы получим интеграл движения – величину, сохраняющуюся в ходе всего движения относительно того параметра, которым задается это движение. Здесь этот параметр – долгота.

$$R \sin A = \text{const.}$$

где R – радиус параллели,

A – азимут.

Детально проанализировав дифференциальные треугольники, используя аналитическую геометрию, применяя формулы для поперечного радиуса и радиуса нормального сечения, которые тоже можно получить с помощью аналитической геометрии, используя найденный интеграл движения, мы наконец получим систему дифференциальных уравнений для геодезической:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\varphi}{ds} = \cos A \frac{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^3}}{a(1-e^2)} \\ \frac{d\lambda}{ds} = \frac{\sin A}{\cos \varphi} \frac{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)}}{a} \\ \frac{dA}{ds} = \tan \varphi \sin A \frac{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)}}{a} \end{array} \right. ,$$

где e – эксцентриситет эллипсоида.

В этой системе уравнений первые два справедливы для любой кривой на поверхности эллипсоида, а вот третье соответствует именно геодезической – если его поменять, мы получим систему уравнений для другой кривой. К примеру, можно положить $\frac{dA}{ds} = 0$, что равносильно

$A = \text{const}$, а это есть свойство линии постоянного курса, и мы получим систему уравнений для локсодромии. Используя аналитическую геометрию для ранее полученного интеграла движения, и из свойства производной (тангенс угла наклона касательной к данной точке графика функции есть значение производной в этой точке), мы получим еще два уравнения [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos u \sin A = \cos u_1 \sin A_1 = \text{const} \\ \tan u = \tan \varphi \frac{b}{a} \end{array} \right. ,$$

где a и b – полуоси эллипсоида,

u – приведенная широта, а это угол между радиус-вектором из центра эллипсоида до данной точки и полуосью a ,

A_1, u_1 – начальный азимут и начальная приведенная широта. Примечательно то, что мы бы получили тот же интеграл движения, даже если бы мы решали эту задачу совсем по-другому математическому методу: методу дифференциальной геометрии. Там используется метрический тензор, символы Кристоффеля, уравнение геодезической общее для всякого метрического пространства. Хотя оно тоже получается из принципа экстремального действия в свою очередь. Но тот метод был бы гораздо сложнее. Поэтому используется именно этот метод, который описан здесь.

Используя эти два уравнения и три дифференциальных уравнения выше, можно получить систему уравнений, которая и будет решением задачи:

$$\left\{ \begin{array}{l} s_{12} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{a(1-e^2)d\varphi}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{1 + \tan^2 \varphi \frac{b^2}{a^2}} \sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^3}}} \\ \Delta\lambda = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{(1-e^2)d\varphi}{(1-e^2 \sin^2 \varphi) \cos \varphi \sqrt{\frac{1}{c^2} \frac{1}{1 + \tan^2 \varphi \frac{b^2}{a^2}} - 1}} \\ s_{12} = \int_{A_1}^{A_2} \frac{bdA}{\sqrt{\frac{\sin^3 A}{c^2} - \sin A} \sqrt{1 - e^2 \frac{1}{1 + \frac{b^2}{a^2} \frac{1}{\sqrt{\frac{\sin^2 A}{c^2} - 1}}}}} \\ c = \sin A_1 \cos u_1 = \sin A \cos u \\ \tan u = \tan \varphi \frac{b}{a} \end{array} \right. .$$

Эта система уравнений описывает, какой путь будет пройден по геодезической при данных начальных и конечных широтах, которые мы рассматриваем, и при данном начальном азимуте (курсе) A_1 , какое будет изменение долготы при этих же условиях, которые мы считаем известными. Она также описывает, каким будет азимут при данной широте, если известно, каким он был изначально, и какая была изначальная широта, при которой он был. Важно понимать, что любой в этой системе интеграл не имеет решения в элементарных функциях, но его можно посчитать приближенно с любой требуемой точностью, разложив подынтегральное его выражение в ряд Тейлора. Получив формулы в виде рядов, с любой требуемой точностью, мы сможем удобно решать как прямую геодезическую задачу, так и обратную.

Решение задачи нахождения геодезической на поверхности Земли в различных ее моделях является фундаментальной для всей навигации. Математические методы, применяемые здесь, являются математическими основами судовождения в целом. А также некоторые математические методы, применяемые для этой задачи, тесно связаны с другими научными областями, а именно с современной теоретической физикой в целом. Принцип экстремального действия был вдохновлен в значительной степени как раз задачей нахождения геодезической и сам лег в основу всей современной физики: например, таких ее разделов как теория относительности Эйнштейна или квантовая механика – там используется те же математические методы для нахождения фундаментальных законов природы. Задача нахождения геодезической вдохновила формирование дифференциальной (неевклидовой) геометрии, которая тоже легла в основу той же теории относительности Эйнштейна. Математические методы, применяемые решения для модели «Земля – шар», легли и в основы астрономии. Математические методы, применяемые здесь, являются фундаментальными для многих других разделов науки, а не только для судовождения.

Литература

1. Кожухов В.П., Григорьев В.В., Лукин С.М. Математические основы судовождения // Учебник для вузов мор. трансп. 2-изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 208 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособ. для вузов. В 10 т. – Т. 1. Механика. – 7-е изд., стереотип. – М.: Физматлит, 2021. – 224 с. – ISBN 978-5-9221-1611-4 (Т. 1).

УДК 629.5.072

М.А. Симахина, Г.А. Чернышев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: vol.marina@mail.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ WINDY ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕХОДА МОРСКОГО СУДНА ИЗ П/П ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО В П/П ВЛАДИВОСТОК

В статье рассматривается практический пример применения метеорологического приложения Windy для планирования и выполнения перехода морского судна из п/п Петропавловска-Камчатского в п/п Владивосток. Протяженность маршрута составляет примерно 2 000 морских миль и проходит через акватории со сложными и быстро меняющимися метеоусловиями (Охотское море, пролив Лаперуза, Японское море).

Ключевые слова: судовождение, прогноз погоды, Охотское море, Японское море, Windy, оптимизация маршрута, безопасность мореплавания.

M.A. Simakhina, G.A. Chernyshev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: vol.marina@mail.ru*

APPLICATION OF WINDY SOFTWARE TO OPTIMIZE SHIP TRANSFER FROM PORT PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY TO PORT VLADIVOSTOK

A practical example of using the meteorological application Windy to plan and execute a sea vessel transfer from Petropavlovsk-Kamchatsky to Vladivostok is considered. The route is approximately 2,000 nautical miles long and passes through areas with complex and rapidly changing weather conditions (the Sea of Okhotsk, the Strait of La Pérouse and the Sea of Japan).

Key words: navigation, weather forecast, the Sea of Okhotsk, the Sea of Japan, Windy, route optimization, safety of navigation.

Морские переходы в северо-западной части Тихого океана в осенний период характеризуются повышенной сложностью из-за часто проходящих циклонов, штормовых ветров, туманов и обледенения. Поэтому точный и выверенный прогноз гидрометеорологических данных является важным для обеспечения безопасности и эффективной работы морских отраслей экономики, особенно транспорта и рыболовного промысла [1].

Традиционно гидрометеорологическую информацию штурманы получают штатно через системы NAVTEX и SafetyNET, которая обладает временной детерминированностью и является едино кратной. А японское метеоагенство выпускает в эфир не прогнозы погоды, а прогнозы будущего положения циклонов и антициклонов. В то же время, например, программа-агрегатор Windy, объединяющая данные нескольких ведущих мировых метеорологических моделей (ECMWF, GFS, ARPEGE, ICON, HRRR), позволяет визуализировать метеополя в режиме, близком к реальному времени, и проводить их детальный анализ. В таблице представлены основные характеристики метеорологических моделей, входящих в Windy.

Программа-агрегатор Windy доступна к работе как на персональном компьютере (ПК) – Windy.com, так и на смартфоне в виде приложения Windy.app, имеющего совместимость с iOS и Android. На веб-сайте, в режиме онлайн, предоставляется полный набор данных и функций по самым разнообразным гидрометеорологическим показателям в любой точке мира на интерактивной карте, в то время как мобильное приложение предлагает удобный, но ограниченный набор информации [2].

Мат. модель	ECMWF	GFS	ICON	ARPEGE	HRRR (только США)
Характеристика					
Разработчик	Европейский центр среднесрочных прогнозов	США (NOAA – Национальное управление океанических и атмосферных исследований).	Германия (DWD) и Швейцария	Франция (Météo-France)	США (NOAA)
Пространственное разрешение	~9 км	~13 км	~13 км (глоб.) / ~6,5 км (Европа)	~7,5 км (Франция) / ~15 км (глоб.)	~3 км (только США)
Частота обновления	2 раза в день (00, 12 UTC)	4 раза в день (00, 06, 12, 18 UTC)	4 раза в день	4 раза в день	Каждый час
Прогноз на срок	До 15 дней	До 16 дней	До 7,5 дней (глоб.) / до 5 дней (Европа)	До 4 дней (детально) / до 7,5 дней	До 18 часов
Превосходство	1. Точность в среднесрочном прогнозе, особенно по Европе. 2. Можно запустить множество ансамблей измененных прогнозов, чтобы оценить вероятность событий	1. Бесплатность 2. Частые обновления 3. Глобальный охват 4. Можно запустить множество ансамблей измененных прогнозов, чтобы оценить вероятность событий	1. Хороший баланс для Европы, высокое разрешение 2. Использует передовые негидростатические уравнения, что позволяет лучше моделировать конвективные процессы (грозы, ливни).	Высокая точность для Франции и Европы	Высочайшая детализация для США на короткий срок
Недостаток	Менее частые обновления	Может уступать в точности ECMWF	Меньшая известность и время прогноза	Фокус на Европе	Очень ограниченная зона покрытия

На рис. 1. представлены скриншоты экранов с сайта ПК и приложения на смартфоне.

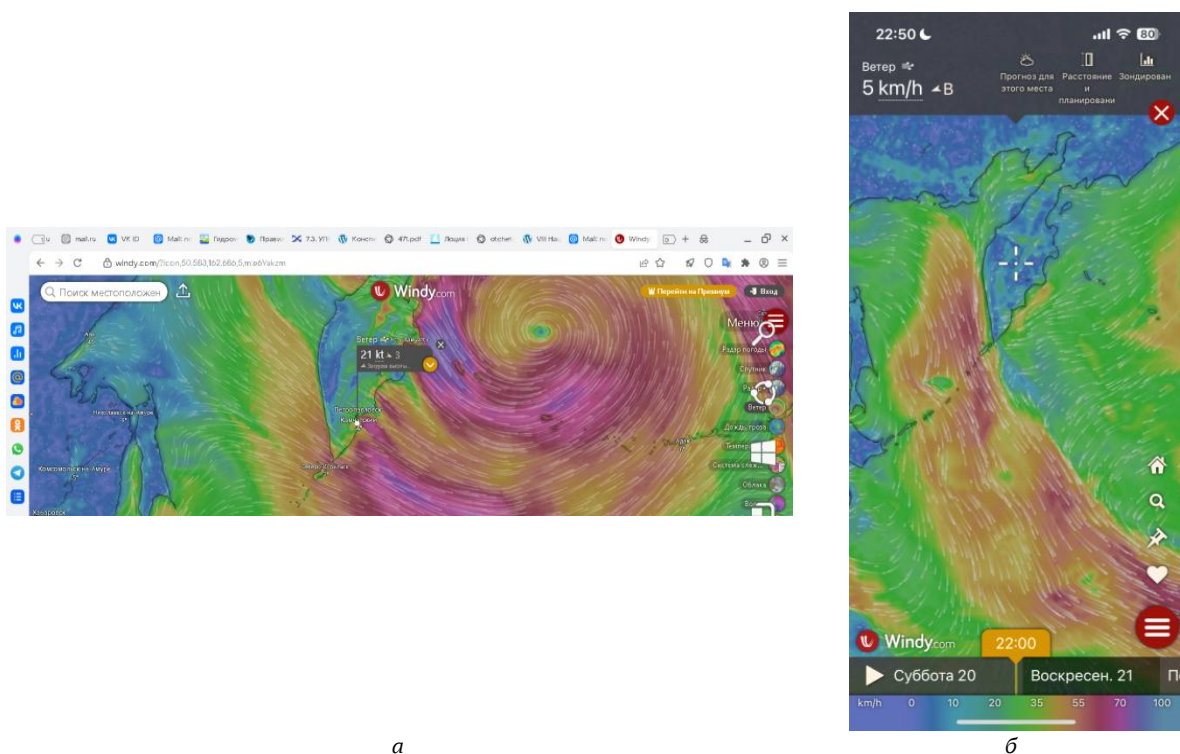


Рис. 1. Экран с гидрометеорологическими данными:
а – сайт Windy.com; б – приложение Windy.app

Ключевыми особенностями и возможностями программы-агрегатора Windy является визуализация погодных явлений и анимация их изменения со временем:

- *Ветер.* Карта показывает направление и скорость ветра с помощью плавных потоковых линий (частиц). Чем быстрее движение и плотнее линии, тем сильнее ветер.
- *Осадки.* Дождь, снег, мокрый снег и град отображаются в виде накладываемого на карту слоя.
- *Облачность.* Показывает покрытие и высоту облаков.
- *Давление.* Изобары и области высокого/низкого давления.
- *Температура.* Карта температур как у поверхности, так и на разных высотах.
- *Волны.* Высота и направление морских волн.

Чтобы проанализировать и оценить эффективность использования платформы Windy для выбора оптимального маршрута с целью обеспечения безопасности плавания, минимизации времени в пути и сокращения расхода топлива, для примера нами был выбран переход морского судна, который является одним из востребованных в морской навигации, из п/п Петропавловска-Камчатского в п/п Владивосток в период октября (рис. 2 и 3).

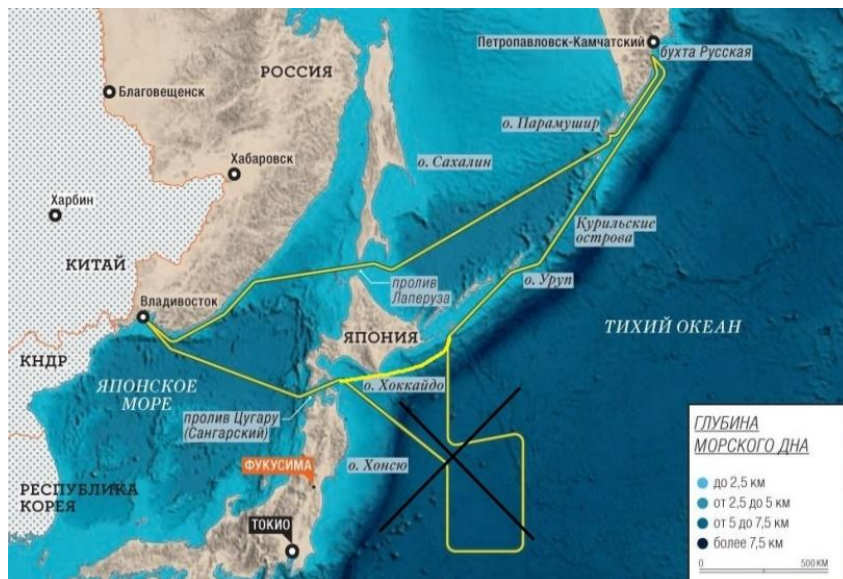


Рис. 2

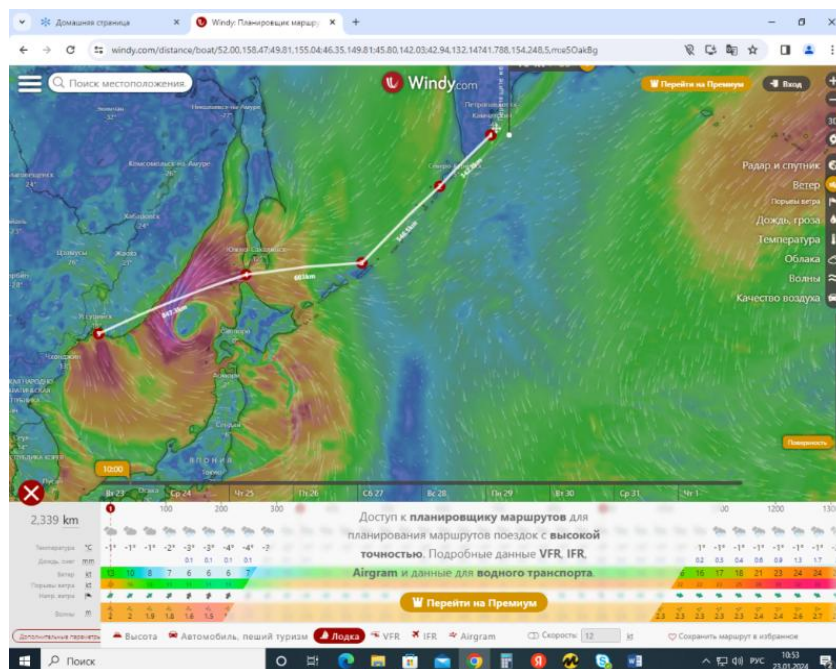


Рис. 3. Окно Windy.com с выбранными точками перехода и прогнозируемыми гидрометеорологическими данными

Особое внимание уделялось следующим участкам:

Участок 1: Берингово море (Авачинская бухта, западная часть моря). Осенью в Беринговом море характерны особенности ветровой циркуляции, волнения, выпадения осадков и температуры воздуха. Эти особенности связаны с сезонными особенностями атмосферного режима и циклонической деятельности над акваторией [3].

Участок 2: Охотское море (южная часть моря). В осенне-зимний период характерны сильные штормы, вызванные глубокими циклонами. Вероятен риск обледенения судов, а в северной части моря – торошения сжатия льда. Для плавания судов сложны многочисленные проливы, пролегающие между Курильскими островами. Здесь часты штормовые ветры, сильные приливные течения и продолжительные густые туманы. При плавании вдоль Курильских островов необходимо учитывать, что смена погоды на этом участке может происходить очень быстро. В период зимних муссонов (с октября по апрель) над большей частью Охотского моря господствуют ветры северных направлений (50–70%). В северной и восточной частях моря преобладают северные и северо-восточные ветры, в южной и западной частях моря – северо-западные и западные [3].

Участок 3: Пролив Лаперуза. Сложная навигационная обстановка, сильные течения, частые туманы летом. Осенью в проливе Лаперуза (Охотское море) характерны особенности ветровых явлений, выпадения осадков и образования туманов. Эти особенности связаны с сезонными изменениями воздушных потоков, влиянием холодных течений и выходом холодных глубинных вод на поверхность [3].

Участок 4: Японское море. Осенью характерны особенности метеоявлений, связанные с переходом от летнего к зимнему муссону, изменением температуры воздуха, выпадением осадков и прохождением тайфунов. Активная деятельность тайфунов наблюдается в конце лета – начале осени. Пути перемещения тайфунов разнообразны, ни один из них не повторяет траекторию другого в точности [3].

По полученным прогностическим данным по каждой математической модели и фактическим данным в срок 12:00 по местному камчатскому времени нами были построены гистограммы сравнения (рис. 4).

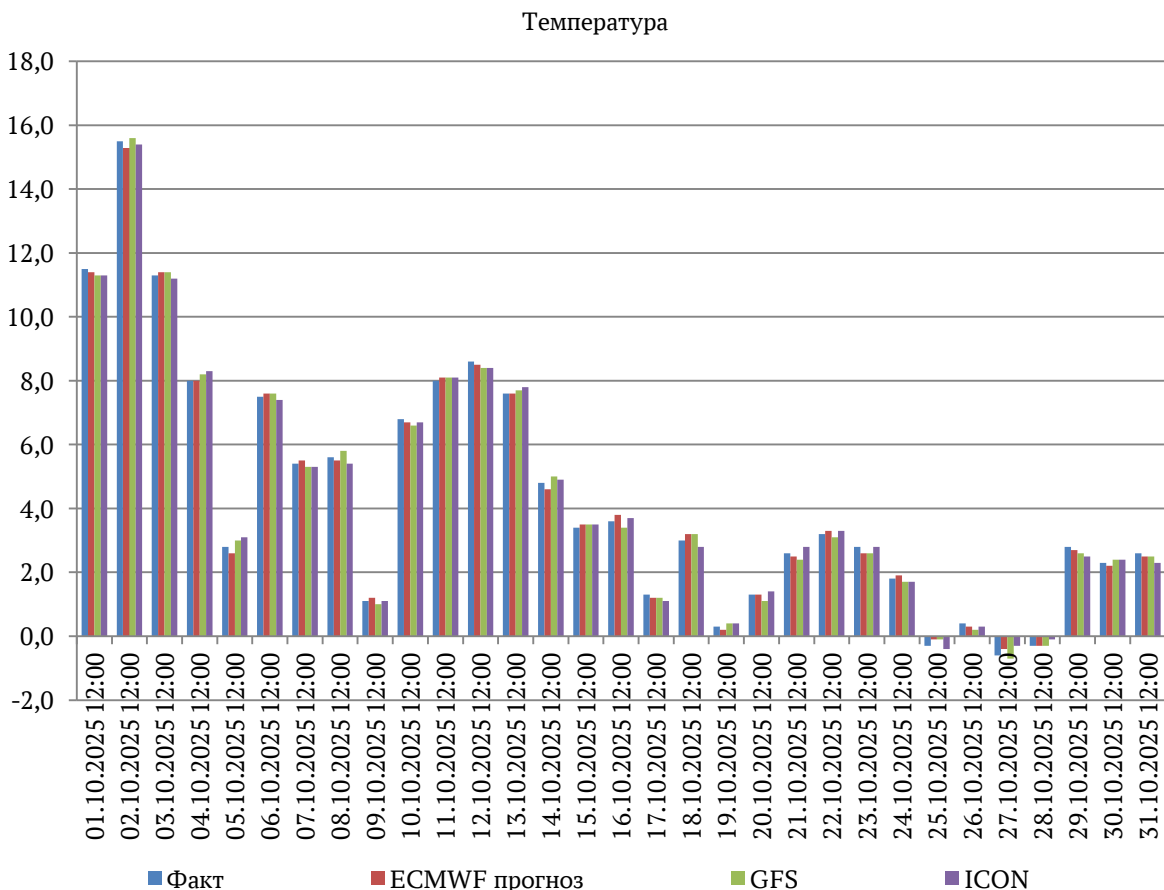


Рис. 4. Гистограммы сравнения (начало)

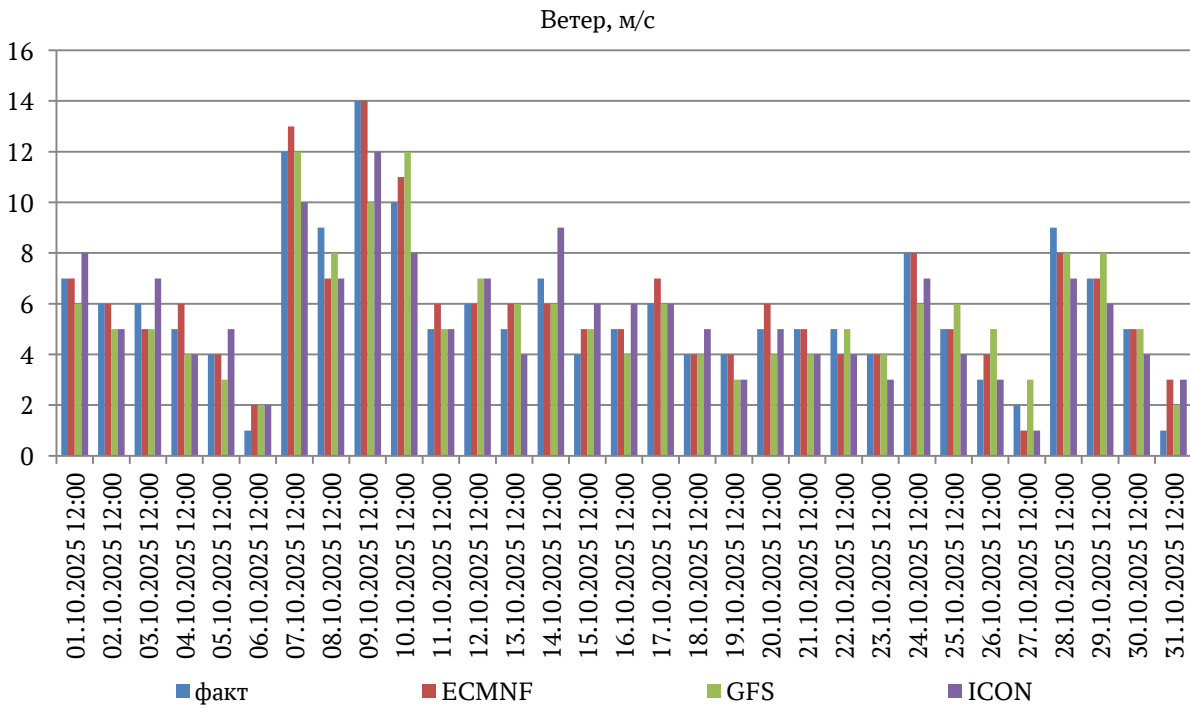
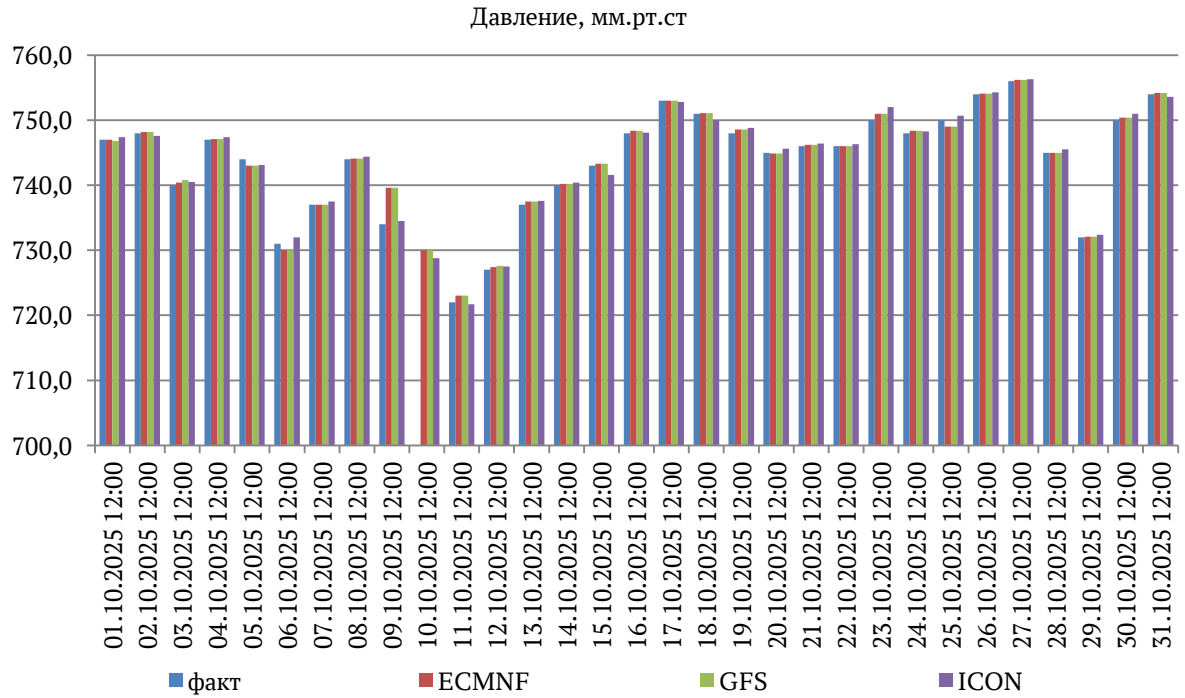


Рис. 4. Гистограммы сравнения (продолжение)

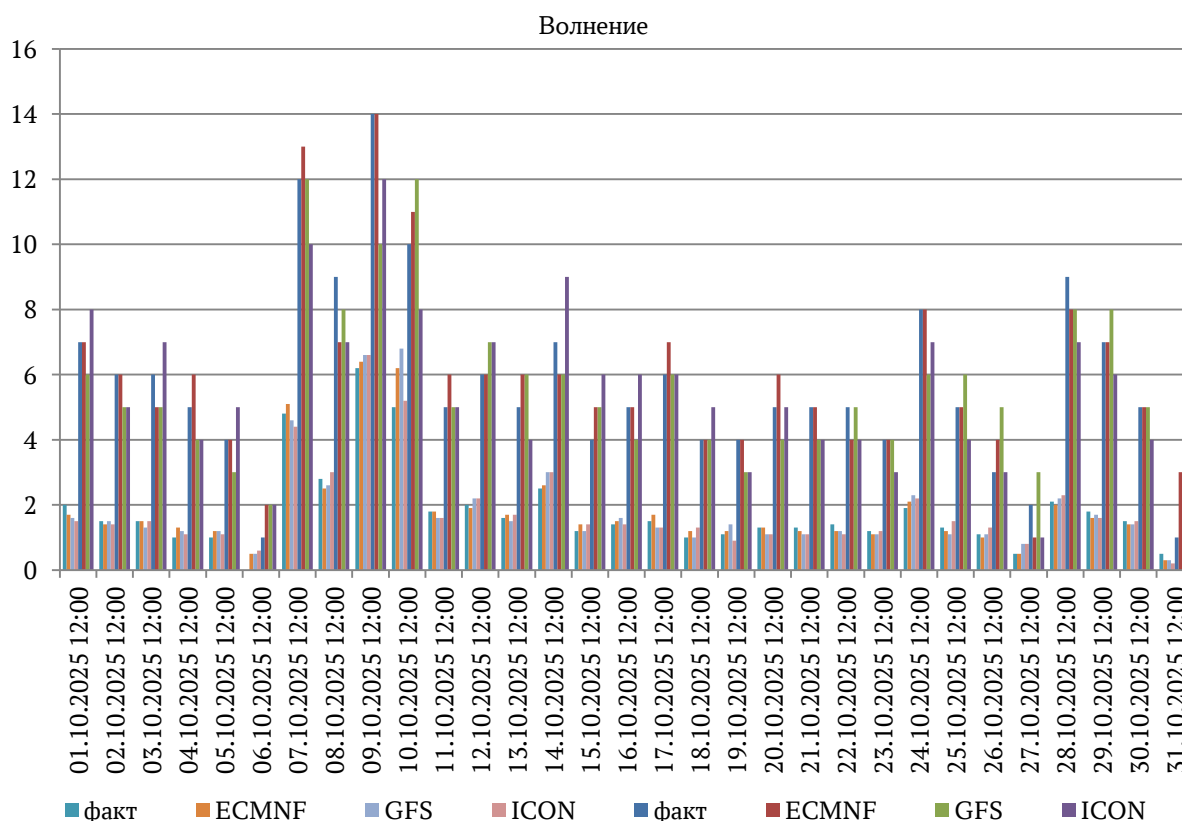


Рис. 4. Гистограммы сравнения (окончание)

Из графиков видно, что наиболее близко к истинным значениям соответствуют прогностические данные математических моделей платформы Windy: ECMWF и GFS. Отличия прогностических от фактических данных составили всего $\pm 0,2$, что показывает высокую надежность в прогнозе данных гидрометеорологических параметров.

Таким образом, из проведенного сравнительного анализа мы можем сделать следующий вывод: программа-агрегатор Windy показывает высокую надежность в прогнозе температуры, ветра, давления и волнения при планировании перехода судна на выбранном маршруте. Визуализация данных в Windy позволит судоводителю интуитивно и быстро оценивать метеобстановку и принимать обоснованные решения по обходу опасных зон, а также оптимизировать маршрут перехода, что позволит сократить общий расход топлива и избежать простаивания судна.

Для повышения надежности рекомендуется использовать платформу Windy в комплексе с официальными прогнозами Гидрометцентра РФ, анализом приземных карт погоды (карты барической топографии), оперативной информацией от других судов и данными бортового метеорада.

Литература

1. Наставление по службе прогнозов. Раздел III. Метеорологические прогнозы для морского флота. – Москва, 2011.
2. Официальный сайт приложения Windy. – URL: <https://www.windy.com> (дата обращения: 09.11.2025).
3. Воробьев В.Л., Бухаров М.Ю. Синоптическая метеорология дальневосточных морей. – Владивосток: Дальнаука, 2006.

УДК 629.5.083.5

Ю.С. Стрельник², С.А. Матвиенко¹

¹ *Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
филиал Национального исследовательского Московского государственного строительного университета,
Макеевка, 286123;*

² *Донецкая академия транспорта,
Донецк, 283086
e-mail: yura-strelnik@yandex.ru; s.a.matvienko@donnasa.ru*

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ О ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕОРИИ ПОЛЕЗНОСТИ

В статье предлагается адаптивный алгоритм принятия решений о техническом обслуживании и ремонте судовых дизелей, интегрирующий стохастическое моделирование с марковскими процессами принятия решений и теорией полезности для учета субъективных предпочтений лица, принимающего решения. Алгоритм преодолевает ограничения традиционных стратегий, динамически учитывая неопределенность условий эксплуатации, включая окружающую среду, нагрузку и ресурсы. Ключевые компоненты: моделирование состояний дизеля по параметрам (температура, вибрация, износ поршневой группы, клапанов); вероятности переходов на основе исторических данных; функции вознаграждения (затраты, простои, доходы); расчет ожидаемой полезности.

Ключевые слова: стохастическое моделирование, марковские процессы принятия решений, теория полезности, адаптивный алгоритм, надежность, экономическая эффективность, мониторинг состояния.

Yu.S. Strelnik², S.A. Matvienko¹

¹ *Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, branch of the National Research
Moscow State University of Civil Engineering,
Makeyevka, 286123;*

² *Donetsk Academy of Transport,
Donetsk, 283086
e-mail: yura-strelnik@yandex.ru; s.a.matvienko@donnasa.ru*

ADAPTIVE ALGORITHM FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF SHIP DIESELS BASED ON STOCHASTIC MODELING AND UTILITY THEORY

The adaptive decision-making algorithm for the maintenance and repair of marine diesel engines, which integrates stochastic modeling with Markov decision processes and utility theory to account for the subjective preferences of the decision-maker is proposed. The algorithm overcomes the limitations of traditional strategies by dynamically considering the uncertainty of operating conditions, including the environment, load and resources. The key components include: modeling the states of the diesel engine based on parameters (temperature, vibration, piston group wear, and valve wear); transition probabilities based on historical data; reward functions (costs, downtime, and revenue) and calculating the expected utility.

Key words: stochastic modeling, Markov decision processes, utility theory, adaptive algorithm, reliability, economic efficiency, state monitoring.

Судовые дизели являются ключевыми компонентами энергетической установки судна, обеспечивающими его движение и функционирование различных систем. Эффективная стратегия технического обслуживания и ремонта (ТОиР) судовых дизелей имеет решающее значение для обеспечения безопасности плавания, поддержания высокой эксплуатационной готовности судна и снижения экономических затрат.

Существующие подходы к ТОиР судовых дизелей можно разделить на три основные категории: планово-предупредительное техническое обслуживание (ППТО); техническое обслуживание по фактическому состоянию (СВМ); техническое обслуживание, ориентированное на надежность (RCM) [1, 2]. Традиционные стратегии ТОиР, основанные на фиксированных интервалах обслуживания, не учитывают фактическое состояние двигателя и условия его эксплуатации, что может привести к избыточному обслуживанию или, наоборот, к пропуску необходимых работ, что, в свою очередь, приводит к отказам и авариям.

В последние годы все больше внимания уделяется стратегиям ТОиР, основанным на мониторинге состояния, которые позволяют принимать решения на основе информации о текущем состоянии двигателя [3]. Однако эти методы часто игнорируют субъективные предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР) и не адаптируются к изменяющимся условиям.

Цель исследования – разработка адаптивного алгоритма принятия решений о ТОиР судовых дизелей, учитывающего стохастическую природу их состояния и субъективные предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР), для минимизации затрат и рисков при максимизации надежности и готовности судна.

В основе подхода лежит стохастическое моделирование с использованием марковского процесса принятия решений (MDP), который позволяет учитывать неопределенность в состоянии деталей, таких как компоненты дизельного двигателя. Состояния (S) представляют собой описание текущего положения деталей в дискретные моменты времени. Они включают наработку – например, количество моточасов или километров пробега, – а также ключевые параметры, характеризующие износ: температуру (T), нагрузку (L), количество циклов работы (C) и результаты диагностики, такие как степень износа поршней, клапанов или подшипников.

Действия (A) охватывают возможные варианты взаимодействия с деталями для оптимизации их ресурса: от пассивного наблюдения (продолжение эксплуатации без вмешательства) до активных мер, включая плановое техническое обслуживание (замена масла, фильтров или регулировка), текущий ремонт (замена изношенных элементов) или капитальный ремонт (полная разборка и восстановление). Переходы между состояниями ($P(s'|s, a)$) определяют вероятность перехода из одного состояния в другое после выполнения действия; эти вероятности рассчитываются на основе исторических данных эксплуатации, экспертных оценок и физических моделей износа, учитывая факторы вроде температуры или нагрузки.

Награды ($R(s, a)$) отражают последствия каждого действия в конкретном состоянии: это может быть положительный доход от бесперебойной работы двигателя, минус затраты на обслуживание и ремонт, а также штрафы за простои или аварии. Чтобы учесть субъективные предпочтения лица, принимающего решения, вводится теория полезности. Функция полезности ($U(x)$) преобразует денежные и операционные исходы – доходы, затраты, риски – в безразмерную величину, которая отражает личную ценность этих результатов. Ожидаемая полезность помогает выбрать действие, максимизирующее общую выгоду, балансируя краткосрочные расходы и долгосрочную надежность.

Адаптивный алгоритм принятия решений о ТОиР судовых дизелей на основе стохастического моделирования и теории полезности. Цель алгоритма – разработка оптимальной стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОиР) судового дизеля, минимизирующей затраты и максимизирующей готовность к эксплуатации. Основные принципы: адаптивность, стохастическое моделирование, теория полезности, реальные ограничения. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке.

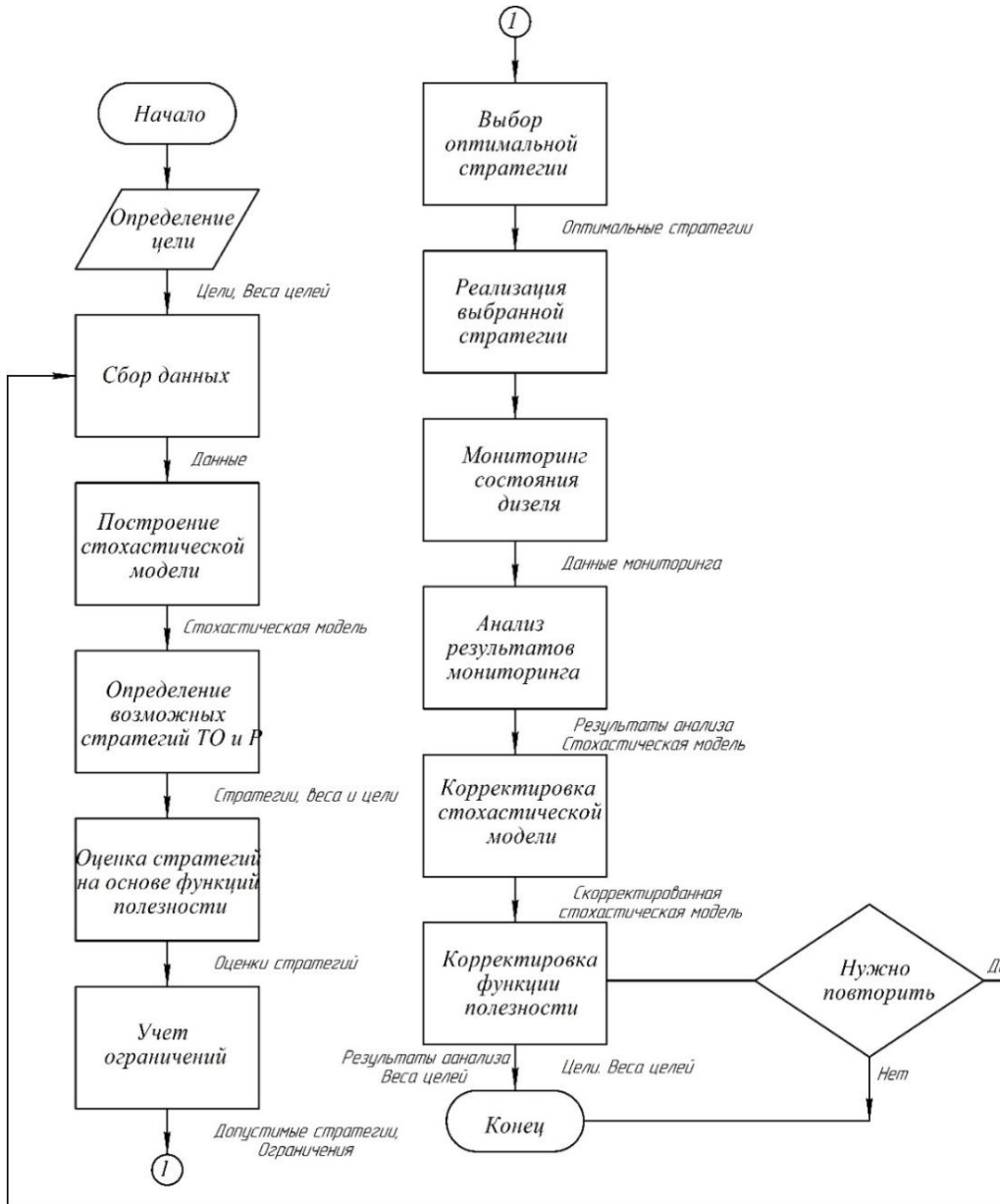
Процесс начинается с инициализации модели. Сначала определяются множества состояний (S) и действий (A), основываясь на специфике автомобильных деталей. Затем оцениваются вероятности переходов ($P(s'|s, a)$) с использованием накопленных данных по эксплуатации и экспертных знаний. Функция вознаграждения ($R(s, a)$) формируется как комбинация доходов от работы, затрат на ТОиР и штрафов за сбои. Параллельно задается функция полезности ($U(x)$), адаптированная под предпочтения ЛПР, а начальное состояние (s_0) фиксируется на основе текущих показаний датчиков дизеля.

Далее решается сама задача MDP. Для этого применяется динамическое программирование – либо итерации по значениям состояний, либо по стратегиям, – чтобы найти оптимальную политику ($\pi(s)$), которая отображает каждое состояние в лучшее действие. Эта политика максимизирует ожидаемую суммарную дисконтированную полезность:

$$V(s) = \max_a \{R(s, a) + \gamma \sum_{s'} P(s'|s, a) V(s')\}, \quad (1)$$

где $V(s)$ – оптимальная ценность состояния,

γ – коэффициент дисконтирования, учитывающий, насколько важны будущие награды по сравнению с текущими. В качестве альтернативы можно задействовать методы обучения с подкреплением, такие как Q-обучение или SARSA, для аппроксимации стратегии на основе реального опыта эксплуатации.



Блок-схема алгоритма принятия решения о ТОиР судовых дизелей на основе стохастического моделирования и теории полезности

В режиме реального времени алгоритм работает циклично. Текущее состояние двигателя (s_t) измеряется с помощью датчиков и диагностического оборудования – фиксируются температура, вибрация, расход топлива и другие параметры. На основе оптимальной стратегии выбирается действие ($a_t = \pi(s_t)$): например, продолжить эксплуатацию, провести ТО или ремонт. Выполняется выбранное действие, после чего оцениваются его последствия – изменения состояния, понесенные затраты и полученный доход. Вероятности переходов и функция вознаграждения обновляются с учетом нового опыта, и цикл повторяется на каждом шаге времени, обеспечивая адаптивное предсказание ресурса и минимизацию рисков.

Адаптивный алгоритм принятия решений о ТОиР судовых дизелей сочетает стохастическое моделирование для прогнозирования состояния и теорию полезности для выбора оптимальной стратегии, учитывая неопределенность условий эксплуатации.

Для отражения изменчивости состояния дизеля используются вероятностные модели ключевых компонентов (коленчатый вал, поршневая группа, топливные форсунки). Параметры состояния: износ цилиндров, давление впрыска, температура выхлопа.

Возможные модели:

- марковские процессы (дискретизация состояний: «исправно», «частично неисправно», «неисправно» с вероятностями переходов);
- диффузионные процессы (стохастические дифференциальные уравнения);
- процессы с независимыми приращениями.

Параметры оцениваются по данным мониторинга.

Теория полезности формализует решения в условиях неопределенности. Альтернативы: «Ничего не делать», «Провести обслуживание», «Провести ремонт». Исходы: нормальная работа, отказ с незначительными последствиями, серьезная авария. Вероятности исходов оцениваются по моделям. Полезность $U(o)$ учитывает затраты, простои, прибыли, безопасность и экологию.

Ожидаемая полезность:

$$EU(a) = \sum P(o|a) U(o), \quad (2)$$

где $EU(a)$ – ожидаемая полезность альтернативы a ,

$P(o|a)$ – вероятность исхода o при выборе альтернативы a ;

$U(o)$ – полезность исхода o .

Выбирается альтернатива с максимальной ожидаемой полезностью:

$$a = \operatorname{argmax} EU(a).$$

Выбирается альтернатива с максимумом $EU(a)$.

Адаптивный алгоритм корректируется на основе мониторинга (вибрация, температура, давление, состав масла). Данные обновляют модели (байесовские методы или ML), пересчитывается $EU(a)$, реализуются действия. Результаты корректируют алгоритм (веса полезности, прогнозы). Алгоритм балансирует экономику, надежность и устойчивость для современных судовых установок.

Предложенный адаптивный алгоритм принятия решений о техническом обслуживании и ремонте судовых дизелей представляет собой перспективный подход к оптимизации стратегий обслуживания и ремонта, позволяющий учитывать неопределенность условий эксплуатации, сложность конструкции двигателя и ограниченность ресурсов. Дальнейшие исследования будут направлены на: разработку более точных и надежных моделей прогнозирования технического состояния компонентов двигателя, интеграцию алгоритма с системами управления судном для автоматизации процесса принятия решений, расширение функциональности алгоритма за счет учета экологических факторов и требований безопасности.

Литература

1. Технология технического обслуживания и ремонта судов. Коленчатый вал судового дизеля. Условия работы. Техническое обслуживание // Учебное пособие для курсантов специальности 26.05.06 Эксплуатация судовых энергетических установок очной и заочной форм обучения, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Керч. гос. мор. технолог. ун-т». – Керчь, 2024. – 32 с.

2. Котлов С.Р., Семенюта Е.Д. Техническое обслуживание и ремонт судовых двигателей [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2024. – № 52 (551). – С. 40–44. – URL: <https://moluch.ru/archive/551/121221>.

3. Леонов А.В. Разработка алгоритмов стохастического моделирования для оптимизации процессов технического обслуживания и ремонта оборудования // Математика и математическое образование в эпоху цифровизации: XIII Всерос. с междунар. участием науч.-метод. конф. – Красноярск, 2024. – С. 50–53.

УДК 620.2.075.9

Р.М. Трибунская, А.К. Кулдасов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: rayamt@mail.ru*

К ВОПРОСУ О ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАМЧАТКИ

Рассматриваются факторы, влияющие на формирование требуемых механических характеристик горячекатаной арматурной стали в условиях замкнутого цикла технологической линии. Представлены результаты исследования микроструктур арматурных сталей и причины формирования их, рекомендации параметрического характера по технологическим этапам цикла.

Ключевые слова: арматурная сталь, дислокационная субструктура, макроанализ, микроструктура, бейнитная структура, векториальность механических свойств.

R.M. Tribunskaya, A.K. Kuldasov

*Kamchatsky State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: rayamt@mail.ru*

ON THE ISSUE OF CONSTRUCTION REINFORCING STEEL PRODUCTION IN INDUSTRIAL ENTERPRISES OF KAMCHATKA

The factors affecting the formation of the required mechanical characteristics of hot-rolled reinforcing steel in a closed cycle process line are considered. The results of the study of the microstructures of reinforcing steels and the reasons for their formation, the recommendations of the parametric character for the technological stages of the cycle are presented.

Key words: reinforcing steel, dislocation substructure, macro-analysis, microstructure, bainitic structure, vectoriality of mechanical properties.

13 мая 2025 г. на Камчатке дан старт развития черной металлургии. Впервые был запущен завод по производству горячекатаной строительной арматуры, мощностью до 30 тыс. тонн в год. Сырьем для производства является отечественный металлолом. Технологический цикл горячей прокатки арматуры выполняется на линии, включающей следующие операции: выплавка стали в индукционной печи, получение слитка квадратного сечения, вытяжка заготовки и нанесение периодического профиля, остывание готовой арматуры без принуждения, в естественных условиях. Получение квадратного сечения заготовки перед протяжкой проводится трехкратным обжатием. Дополнительная термическая обработка исключена.

Особенности получения горячего проката с требуемыми механическими свойствами связаны с формированием макро- и микроструктуры проката, дислокационных субструктур в готовом изделии. Это потребовало корректировки параметров температурно-временного воздействия на каждом этапе технологического цикла при соответствии химического состава стали.

Прочностные и деформационные характеристики отдельных слоев арматурных стержней в целом существенно сказываются на работе арматуры как в процессе изготовления железобетонных конструкций, так и при их нагружении [1].

Согласно ГОСТ 34028-2016 [2], химический состав и механические свойства арматурной стали А400 и А500 приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав стали

Класс проката	Массовая доля элементов, в %, не более						
	C	Si	Mn	Cu	N	S	P
Сталь А400	0,22	0,90	1,60	<0,35	0,012	0,05	0,05
Сталь А500	(0,24)	(0,95)	(1,70)		(0,013)	(0,055)	(0,055)

Таблица 2

Механические свойства проката

Категория пластичности	Класс проката	Предел текучести $\sigma_{T(\sigma_{0,2})}$, Н/мм ²	Временное сопротивление σ_B , Н/мм ²	Отношение фактических значений $\sigma_B / \sigma_{T(\sigma_{0,2})}$	Относительное удлинение, %		
					δ_5	δ_p	δ_{max}
Стандартная	A400	390	590	-	16	-	5,0
	A500	500	600	1,05	14	2,0	2,5

Испытания прочности и пластичности, исследование макро- и микроструктуры стали показали, что прочностные и пластические параметры стали различных зон прутка определяются морфологией и дисперсностью строения стали в различных слоях, при образовании изделий из таких арматурных стержней необходимо учитывать особенности их строения. Плотность дислокаций и прочностные характеристики выше у наружных слоев стержней, а в центре выше пластичность [3]. Это связано с неравномерным распределением температур и деформационными процессами по сечению, что способствует формированию мелкозернистой структуры поверхностной области.

При исследовании микроструктуры поперечных и продольных стержней арматуры показали, что в сечениях в процессе горячей деформации формируется слоистый градиентный состав, на формирование которого влияют такие параметры, как температуры заливки формы и температурный и временной интервал обжатия и вытяжки заготовки, нанесение рельефа.

Металлографический анализ микроструктуры образцов сталей А400 и А500 проводился на микроскопе Olympus VX53M по ГОСТ 8233-56 «Сталь. Эталоны микроструктуры» [4] и ГОСТ 5640-2020 «Сталь. Металлографический метод микроструктуры проката стального плоского» [5]. Фотографии микроструктур стальной арматуры приведены на рис. 1–4.

Сталь А400 (рис. 1–3) – испытания по механическим показателям показали некоторое отклонение по относительному удлинению δ_5 (показатель пластичности).

Горячая деформация характеризуется соотношением скорости деформирования и рекристаллизации, успевающей произойти во всем объеме заготовки, при этом микроструктура должна быть равновесной, без следов упрочнения. Анализ микроструктуры стержней из стали А400 показал наличие неоднородной структуры: волокнистость, микроструктура представлена на рис. 1, и наличие видманштеттовой и бейнитных структур на рис. 2 и 3. Это указывает на то, что сталь не полностью рекристаллизована, кроме того образование видманштетта связано со значительным перегревом жидкого расплава. Микроструктура с ярковыраженной волокнистостью характеризуется векториальностью механических свойств [6] и способствует снижению пластичности.



Рис. 1. Сталь А400 при 240^x вдоль стержня арматуры (неравномерное чередование полос второй фазы и феррита, состоящих преимущественно из деформированных зерен)

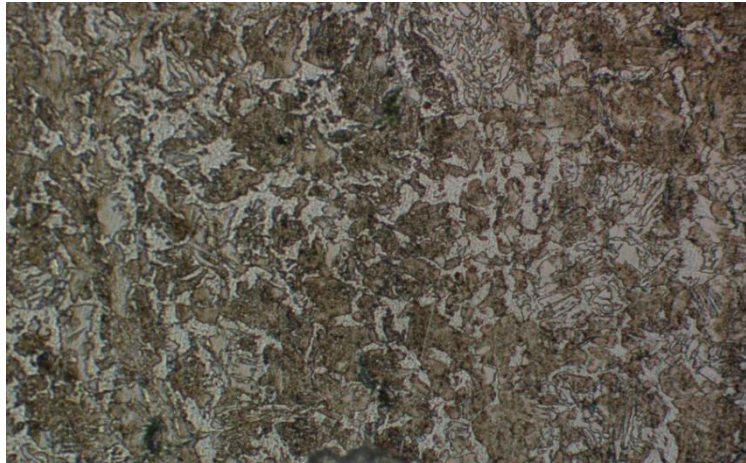


Рис. 2. Сталь А400 при 240^х с торца стержня (перлит, феррито-бейнитная полосчатость; балл 2, несколько разорванных полос второй фазы на фоне равноосных ферритных зерен)

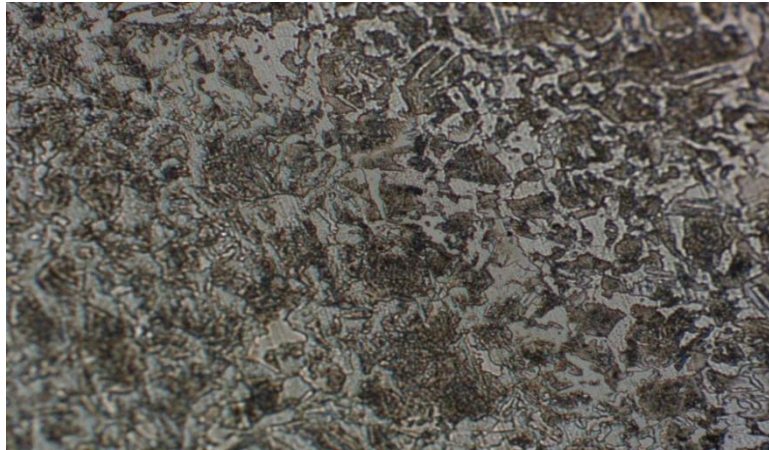


Рис. 3. Сталь А400 при 240^х с торца стержня (перлит, феррито-бейнитная полосчатость, наличие в структуре участков видманштетта балл 2)

Сталь А500 – микроструктура представлена на рис. 4, легирована ванадием, в пределах, соответствующих требованиям ГОСТ 34028-2016 [7]. Ванадий, как легирующий элемент в небольших количествах, образующий труднорастворимые в аустените карбиды [7], измельчает зерно, как результат – повышение прочности. Такая сталь по механическим параметрам соответствует требованиям ГОСТ.

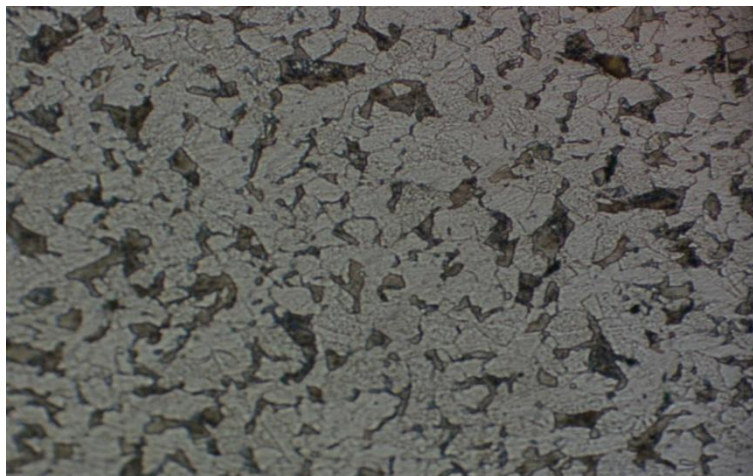


Рис. 4. Сталь А500 при 240^х с торца стержня (феррито-перлитная структура; зерна феррита более мелкодисперсны по сравнению с зернами перлита)

На основании вышеизложенных исследований были разработаны рекомендации по температурно-временным параметрам технологических операций производственного цикла горячей прокатки арматурной стали на линии замкнутого цикла: температура заливки формы, скорость перемещения заготовки на каждом этапе цикла, температурный интервал обработки.

Литература

1. Микрюков В.П., Юрьев А.Б., Иванов Ю.Ф. Эволюция структурно-фазовых состояний арматуры в процессе эксплуатации // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2006. – № 12. – С. 22–23.
2. ГОСТ 34028-2016 Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия.
3. Мойсейчик Е.А. Слоистость арматуры из низкоуглеродистых термоупрочненных сталей // Вестник Брестского технического университета. – 2010. – № 4. – С. 53–58.
4. ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры.
5. ГОСТ 5640-2020 Сталь. Металлографический метод микроструктуры проката стального плоского.
6. Технология конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 2002. – 503 с.
7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 527 с.

УДК 004.8:627.7

М.Л. Тупицына, Ю.А. Кочнев

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, 603950
e-mail: marytupitsyna@yandex.ru; tmnnkoch@mail.ru*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СПАСАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СУДНА

Исследование анализирует возможность применения искусственного интеллекта и нейронной сети в проектировании спасательных устройств судна. В данной статье обозначим достоинства и недостатки применения ИИ в инженерии и зададим волнующие нас вопросы, такие как: в чем может пригодиться ИИ и насколько полезна помощь ИИ. Для этого сравним ручное проектирование, то есть самостоятельно рассмотрим правила РКО и согласно им конкретизируем количество спасательных устройств, и машинное, где ИИ по нашему запросу на основе правил РКО конкретизирует количество спасательных устройств для парома класса О 2,0 (лед20) А пассажироместимостью 80 человек и 8 человек экипажа. По итогу сравним полученные результаты и ответим на вопрос, можно ли прибегать к работе с ИИ в проектировании.

Ключевые слова: спасательные устройства, судно, паром, искусственный интеллект, нейронная сеть, проектирование.

M.L. Tupitsyna, Yu.A. Kochnev

*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, 603950
e-mail: marytupitsyna@yandex.ru; tmnnkoch@mail.ru*

FEATURES OF NEURAL NETWORKS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION TO SUBSTANTIATE THE CHARACTERISTICS OF SHIP RESCUE DEVICE

The possibility of using artificial intelligence and neural networks in the design of ship lifesaving appliances is analyzed. The advantages and disadvantages of using AI in engineering are enumerated. The main questions, such as: what can AI be useful for and how helpful is AI assistance, must be studied. The manual design, where we independently examine the Russian Maritime Register of Shipping (RMRS) Rules and specify the quantity of lifesaving appliances, should be compared with machine one, where AI, upon our request, specifies the quantity of lifesaving appliances for a Class O 2.0 (Ice20) ferry with a passenger capacity of 80 people and a crew of 8, based on the RMRS Rules. Finally, we will compare the results obtained and answer the question: can we use AI in design.

Key words: lifesaving appliances, ship, ferry, artificial intelligence, neural network, design.

На сегодняшний день можно автоматизировать некоторую несложную работу с помощью искусственного интеллекта. Такой помощник может указать на недостатки разработки и предложить свое «лучшее» решение, основанное на принятом им критерии. Его использование позволяет сосредоточиться на более важных и нестандартных задачах, особенно в условиях сжатых сроков. В результате не только растет производительность, но и повышается качество и унификация разработок на ранних этапах проектирования.

Нейронные сети также обладают недостатками для разработки чертежей. Между вводом запроса и выводом решения существует «черный ящик», это просчет ответа нейронной сети, который скрыт от глаз наблюдателя. «Черный ящик» усложняет процесс корректировки запроса, так как не видно, из-за какого слова или значения происходит неправильный выбор и на каком слое отбора. Из-за низкого качества подборки обучающего материала или малого количества примеров нейронная сеть будет воспроизводить ошибки и неоптимальные решения.

Учитывая все вышеописанные достоинства и недостатки нейронной сети в качестве помощника в разработке чертежа, можно составить следующие вопросы:

- что можно прорабатывать с помощью ИИ?
- в каком виде можно получать информацию?
- можно ли делать расчет?

В доступных ИИ информацию можно получать в текстовой, табличной и математической формах. Исходя из формы исходной информации можем предположить, что получится сделать расчет, необходимый перечень для проектирования как действующих правил и стандартов, так и оборудования, предполагаемого для проектируемой части судна.

Проведем исследование на примере разработки чертежа общего вида, которое дает множество возможностей для эксперимента, так как инженер аккумулирует нормы и правила, принятые в районе эксплуатации и на месте постройки судна, и документацию, созданную до разработки чертежа.

Обеспечение безопасности человеческой жизни на воде является комплексной и строго регламентированной задачей. На основе правил РКО [1] рассмотрен подбор спасательного снабжения на примере парома класса «О». Основопологающим принципом является гарантированное наличие коллективных спасательных средств для каждого человека на борту. Согласно пункту 8.2.1 самоходные паромы должны снабжаться коллективными спасательными средствами исходя из разряда района плавания и длины судна. Для проектируемого судна количество людей, обеспечиваемых коллективными спасательными средствами, будет составлять 15% шлюпки и 85% плоты. Однако этот пункт имеет гибкость, оговоренную в пункте 8.2.12, которая заключается в том, что если вместимость шлюпки превышает допускаемые 15%, то разрешено уменьшить вместимость плотов, и также наоборот, если плоты превышают допускаемые 85% вместительности, разрешается уменьшить вместимость шлюпок. Главная условие – вместимость не может быть меньше, чем заявленная пассажироместимость на проектируемом судне. Важным дополнением ко всем уже описанным условиям является требование пункта 8.2.3, которое гласит, что пассажирское судно длиной 90,2 метра должно снабжаться не менее чем одной спасательной шлюпкой с двигателем или дежурной шлюпкой для обеспечения буксировки всех спасательных плотов. Также отмечено, что остальные шлюпки можно заменять плотами.

После подбора коллективных спасательных средств (СС) идет обеспечение индивидуальными СС. Исходя из пункта 8.3.1 СС должны быть предоставлены всем людям на борту. Пункт 8.3.4 конкретизирует, что количество детских спасательных жилетов, рассчитанных на массу тела от 15 до 35 кг, должно составлять не менее 10% от общего числа пассажиров. При этом законодатель устанавливает важное уточнение: это минимальный процент от пассажирской базы, но в абсолютном выражении должно быть обеспечено 100% всех детей, находящихся на борту, гарантируя, что даже если на судне окажется больше детей, чем составляет усредненные 10% от пассажиров, каждый из них будет иметь подходящий по размеру и конструкции жилет.

Еще одним критически важным элементом безопасности, предназначенным для экстренного использования за бортом, являются спасательные круги. Их размещение и количество для пассажирского судна класса «О» строго нормировано таблицей 8.3.5, которая предписывает наличие 12 кругов. Из этого количества на каждом борту должно быть размещено по кругу, оснащенному самозажигающимся буйком и спасательным линем, что позволяет незамедлительно обозначить место падения человека в воду ночью и обеспечить ему надежную связь с судном. Пункт 8.3.5 детализирует их расположение, требуя, чтобы все незакрытые участки палуб, предназначенные для пассажиров, были оснащены этими кругами по обоим бортам, причем расстояние между соседними кругами не должно превышать 20 м, что создает равномерную и эффективную сеть быстрого доступа к средствам помощи по всему периметру судна.

Таким образом, например, для парома класса О длиной 90,2 м, пассажироместимостью 80 человек и экипажем в 8 человек необходимо 2 самоходные шлюпки вместимостью 10 человек каждая, 4 плота вместимостью 20 человек каждый, 9 спасательных кругов, 1 спасательный круг с самозажигающимся буйком и 2 спасательных круга со спасательным линем на открытой палубе по леерному ограждению каждые 20 м, 88 спасательных жилетов для взрослых, 40 спасательных жилетов для детей.

Аналогичный подбор спасательного оборудования выполнен с помощью нейронной сети DeepSeek-V3.2 с предварительным ее обучением Правилам [1]. Дополнительно отметим, что приведенный далее материал представляет собой частично обработанный ответ от нейросети,

в котором сохранены ряд стандартных оборотов ИИ, чтобы показать «качество» предлагаемого материала.

Первое, что отметил ИИ, это разделение спасательных средств на коллективные и индивидуальные.

К коллективным спасательным средствам ИИ отнес шлюпки, плоты, дежурную шлюпку и спускные устройства.

Спасательные шлюпки. «Должны быть частично или полностью закрытые, самовосстанавливающиеся (способные принять правильное положение на воде после опрокидывания). Для пассажирских судов часто требуются спускаемые на воду маневренные шлюпки. Должно быть достаточно шлюпок по каждому борту, чтобы разместить 50% от общего количества людей на борту. Шлюпки должны быть оборудованы устройствами спуска и подъема (шлюпбалками).»

Спасательные плоты. «Надувные, с гидростатическим разобзающим устройством (автоматически срабатывающем на глубине 2–4 метра). Плоты должны быть одобренного типа и сертифицированы. Должно быть достаточно плотов, чтобы разместить оставшиеся 50% людей. Если общая вместимость шлюпок составляет 100%, плоты могут использоваться как дополнительное или аварийное средство, но правило 50% / 50% (шлюпки/плоты) является обязательным для пассажирских судов. Плоты должны располагаться так, чтобы их можно было быстро спустить на воду с любого борта.»

Дежурная шлюпка (спасательный катер). «Для оперативного сбора людей с воды, проведения поисковых операций и буксировки плотов. Должна быть маневренной, быстро спускаемой на воду и способной принимать на борт не менее 5–6 человек. Часто ее роль выполняет одна из спасательных шлюпок, если она соответствует требованиям к дежурной шлюпке (скорость спуска, маневренность).»

Спускные устройства. «Для каждой шлюпки и плота должны быть предусмотрены одобренные спусковые устройства соответствующей грузоподъемности, позволяющие безопасно спускать средства с полной нагрузкой при крене судна до 20° и дифференте до 10°.»

К индивидуальным спасательным средствам ИИ отнес жилеты, гидрокостюмы, персональные указатели места человека, отвечающего за спасательные мероприятия.

Спасательные жилеты. «Должно быть предусмотрены не менее чем на 100% от общего числа людей на борту и дополнительное количество (обычно 5–10%) для дежурных членов экипажа и размещения в общественных местах. Стандартные жилеты, соответствующие требованиям РКО, должны иметь свисток и светоотражающие элементы. Для детей предусматриваются специальные детские жилеты, соответствующие их весу и росту. На паромах часто требуются жилеты с подголовником, чтобы поддерживать голову человека в бессознательном состоянии над водой.»

Гидротермокостюмы и термозащитные средства. «Их количество должно быть достаточно для каждой спасательной шлюпки, дежурной шлюпки и плота (т. е. для всех коллективных средств). Обычно это 2–3 комплекта на шлюпку/плот. Для защиты людей от переохлаждения в холодной воде. Для членов команды, занятых спуском шлюпок и плотов, и для дежурной шлюпки должны быть предусмотрены костюмы с подогревом.»

Персональные указатели места человека (ПУМЧ) / Personal Locator Beacons (PLB). Современное требование. Могут требоваться для членов экипажа, отвечающих за спасательные операции [2].

К дополнительному и прочему оборудованию нейросеть отнесла спасательные круги, спусковые линии, аварийную радиосвязь, УКВ-радиостанцию и судовую систему оповещения.

Спасательные круги. «Не менее 8–12 шт. (точное количество определяется по правилам РКО в зависимости от длины судна). Минимум 4 круга должны быть оборудованы самозажигающимися огнями и самоактивирующимися дымовыми шашками. Как минимум 2 круга должны быть дополнительно оснащены буйками (линиями). Равномерно по обоим бортам, всегда в легкодоступном месте, готовые к немедленному использованию.»

Спускные линии (бросательные концы). «Не менее 4 шт. (по одному в районе каждого спасательного средства). Для подачи конца на плот или в воду.»

Аварийная радиосвязь. «Радиолокационный ответчик (SART). Не менее 2 шт. (обычно один размещается в дежурной шлюпке, второй – на мостике или в другом спасательном средстве).»

Аварийная УКВ-радиостанция. «Не менее 3 шт. (для дежурной шлюпки и для основных спасательных средств).»

Судовая система оповещения (NAVTEX), EPIRB (аварийный буй). «Устанавливаются на судне и являются частью общей системы безопасности.»

Также ИИ дал рекомендации по расположению спасательного оборудования.

Правила строго регламентируют и расположение средств для обеспечения быстрой и безопасной эвакуации.

«Спасательные шлюпки и плоты располагаются на спасательной палубе (чаще всего это открытая палуба по бортам судна – шлюпочная палуба). Они должны быть:

- Легкодоступны и готовы к использованию в любой момент.
- Распределены равномерно по обоим бортам судна.
- Их спуск на воду не должен мешать одновременному спуску средств с другого борта.
- Плоты часто хранятся в контейнерах и устанавливаются на специальных направляющих для быстрого спуска.

Дежурная шлюпка должна находиться в постоянной готовности к немедленному спуску (время спуска не более 5 минут). Обычно размещается в районе кормы или миделя с наиболее удобным для спуска борта.

Индивидуальные спасательные жилеты хранятся в каютах или близ спальных мест пассажиров и экипажа. Каждый жилет должен иметь свою четко обозначенную позицию хранения.

Дополнительные спасательные жилеты размещаются в очевидных и легкодоступных местах на открытых палубах, в общественных помещениях (рестораны, кинозалы), на ходовом мостике.

Спасательные круги равномерно развешиваются по перилам открытых палуб на обоих бортах, в кормовой и носовой частях судна. Круги с огнями и дымом обычно размещаются на крыльях ходового мостика для немедленного использования.»

ИИ дал рекомендации и замечания при проектировании и эксплуатации.

«*Сертификация.* Все без исключения спасательные средства должны иметь действительные сертификаты одобрения РКО или международных классификационных обществ, признаваемых РКО.

Плановая проверка и обслуживание. Все средства требуют регулярного осмотра, обслуживания и пересертификации. Надувные плоты и гидротермокостюмы имеют ограниченный срок службы.

Инструктаж и учения. Экипаж обязан проводить регулярные учения по тревогам, а пассажиры должны быть проинформированы о месте нахождения спасательных средств и порядке их использования перед выходом в рейс (через инструктаж или видеоинструкции).

Документация. На судне должны быть: Свидетельство о безопасности пассажирского судна, Судовой план массовой эвакуации, Инструкции по эксплуатации для каждого типа спасательного средства.

Для получения окончательного и официального перечня необходимого оборудования именно для вашего судна, вам необходимо обратиться к Правилам Российского Классификационного Общества (РКО), конкретно к Правилам классификации и постройки судов. Часть V «Спасательные устройства и снабжение» или направить официальный запрос в РКО для получения утвержденного плана размещения спасательных средств.»

Подводя итог подбора с помощью нейронной сети, можно кратко изложить готовое решение. Необходимы две самоходные шлюпки вместимостью 45 человек, одна из них выполняет функцию дежурной шлюпки; четыре плота вместимостью 20 человек, каждый для аварийных ситуаций; 8–12 спасательных кругов, из них четыре спасательных круга с самозажигающимся огнями и самоактивирующимися дымовыми шашками, и два спасательных круга со спасательным линем или буйками на открытой палубе равномерно вдоль борта; 102 спасательных жилета для взрослых и неопределенное количество спасательных жилетов для детей, 2–3 комплекта гидрокостюма в каждую шлюпку и плот, обеспечение в них радиосвязи. Все приборы связи были рекомендованы на основе источников, отличных от Правил РКО, в том числе иностранных, на наш взгляд, они тоже необходимы для снабжения плота и шлюпки.

Использование искусственного интеллекта на основе общедоступных нейросетей, как видно из проведенного анализа, дает хороший результат на уровне специалиста низкой квалификации. Безусловно, его применение может существенно повысить производительность труда, освободив инженера-кораблестроителя от рутины. Уже в настоящее время ИИ довольно широко применя-

ется в задачах транспортной отрасли, в том числе и на водном транспорте [3], однако его внедрение на отечественных предприятиях, связанных непосредственно с проектированием и строительством судов, пока находится на начальном уровне. Учитывая мировой опыт применения ИИ в судостроении, можно предполагать, что в скором времени его внедрение, как минимум в системы безопасности, будет расширяться. Выполненный анализ показывает его работоспособность, например, как вариант поиска неучтенных при разработке проекта требований, что становится особенно актуально при недостатке высококвалифицированных кадров в небольших проектных организациях.

Литература

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть V «Судовые устройства и снабжение». – М.: Изд-во ФАУ «Российское Классификационное Общество», 2022. – 140 с.
2. What is a Personal Locator Beacon (PLB)? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.smrtsos.com/faqs/personal-locator-beacons/what-is-a-personal-locator-beacon-plb>. (дата обращения: 08.11.2025).
3. Кузьмичев И.К., Чеботарев С.С., Бондарь И.В. Эволюция логистических узлов на внутренних водных путях: от транзитных точек к интеллектуальным транспортным центрам // Научные проблемы водного транспорта. – 2025. – № 83. – С. 138–153. – DOI 10.37890/jwt.vi83.600.

УДК 629.5.06

А.С. Фатеева, Р.А. Гараев

*Камчатский государственный технический университет
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: yesproinpast@gmail.com*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРУЖИННОГО И СИЛИКОНОВОГО ДЕМПФЕРА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Данная статья посвящена сравнительному анализу пружинных и силиконовых демпферов, применяемых для снижения влияния крутильных колебаний на судовых энергетических установках. Рассмотрены особенности конструкции и принципы работы обозреваемых демпферов, их эксплуатационные характеристики, основные преимущества и недостатки. Проанализировано влияние упруговязких свойств материалов на эффективность демпфирования и надежность работы судового валопровода. По результатам анализа сформулированы ключевые рекомендации по выбору оптимального типа демпфера для конкретных условий эксплуатации.

Ключевые слова: пружинный демпфер, силиконовый демпфер, судовая энергетическая установка, крутильные колебания, дизель.

A.S. Fateeva, R.A. Garaev

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: yesproinpast@gmail.com*

COMPARATIVE ANALYSIS OF SPRING AND SILICONE DAMPERS OF TORSIONAL VIBRATIONS OF MARINE POWER PLANTS

This article is devoted to a comparative analysis of spring and silicone dampers used to reduce the effect of torsional vibrations on marine power plants. The design features and principles of operation of the observed dampers, their operational characteristics, main advantages and disadvantages are considered. The influence of the elastic-viscous properties of materials on the damping efficiency and reliability of the ship's shaft line are analyzed. Based on the results of the analysis the key recommendations have been formulated for choosing the optimal type of damper for specific operating conditions.

Key words: spring damper, silicone damper, marine power plant, torsional vibrations, diesel.

Согласно общей статистике, массовая доля аварий и инцидентов на судах зачастую связана с нарушениями правил судовождения и неисправностью судовых технических средств, вызванных, как правило, неправильной технической эксплуатацией и обслуживанием, а также нарушениями технологического регламента ремонта. Большинство технических происшествий вызваны неполадками в работе машинно-двигательных комплексов, они же МДК.

При эксплуатации флота наблюдается отсутствие единой системы по контролю нагрузок на валопроводы и однозначной оценке резонансных диапазонов вращения главных двигателей, что нередко связано с низким уровнем компетенции персонала и наличием лишь общих рекомендательных инструкций по определению резонансного диапазона, не учитывающих специфику конкретного судна, его конструктивный тип, район плавания и выполняемые эксплуатационные функции [1]. Подобные ошибки в эксплуатации приводят к периодической работе судового двигателя в резонансном режиме за пределами допустимого диапазона частот, что значительно увеличивает риск усталостных повреждений валов, уплотнений и элементов машинно-двигательного комплекса, особенно при переходных режимах [2]. Наиболее известными прецедентами подобных случаев можно назвать следующие:

– в 2013 г. на контейнеровозе «Emma Maersk» во время прохождения Суэцкого канала произошел серьезный инцидент, вызванный отказом гребного движителя. В результате происшествия морская вода проникла в машинное отделение через поврежденные уплотнения и дейдвудное устройство, что привело к частичной потере управляемости судна [3];

– в 2019 г. теплоход «Эланд», курсирующий по Ладожскому озеру, столкнулся с разрушением гребного вала, вызванного усталостным износом материала вследствие нарушений при монтаже и недостаточной центровки валопровода [4].

Анализ других случаев показывает, что усталостное разрушение валопроводов остается частой причиной аварий на судах, включая инциденты с Aratere, ОТА-974 и рядом других судов [5].

В большинстве случаев причиной аварий, связанных с валопроводом, являются разрушения, вызванные превышением допустимого диапазона крутильных колебаний [6, 7]. Для предотвращения подобной ситуации и снижения нагрузки на элементы валопровода применяются различные технические устройства, в том числе специальные демпферы.

Сам по себе демпфер в судовой энергетической установке представляет собой устройство, предназначенное для снижения амплитуды крутильных колебаний судового валопровода и кривошипно-шатунного механизма главного двигателя путем преобразования механической энергии в тепловую или упругую форму. В свою очередь это позволяет предотвращать резонансные явления, гасить вибрации и повышать общую надежность работы двигателя и элементов валопровода.

Одним из основных средств защиты валопроводов от крутильных колебаний в судовых энергетических установках являются демпферы различного типа. Наиболее распространенными являются пружинные и силиконовые демпферы, которые принципиально различаются по конструкции, механизму гашения колебаний и эксплуатационным характеристикам [8].

Пружинный демпфер. Пружинный демпфер в судовой энергетической установке представляет собой специализированное устройство, предназначенное для снижения амплитуд крутильных колебаний валопровода и кривошипно-шатунного механизма главного двигателя. Принцип его действия основан на преобразовании механической энергии колебаний в тепловую энергию через упругие деформации листовых рессор и внутреннее трение материалов конструкции, что позволяет эффективно гасить вибрации, предотвращать резонансные явления и повышать надежность работы двигателя и элементов валопровода [9]. Общий внешний вид пружинного демпфера представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид пружинного демпфера [10]

Современные отечественные двигателестроительные предприятия сталкиваются с серьезной проблемой замены импортных пружинных демпферов при выпуске новых моделей судовых дизелей, поскольку отсутствует стандартизированная методика их подбора с учетом характеристик конкретной судовой дизельной установки. Подобные трудности наблюдаются и на предприятиях судоремонта, где возникает необходимость восстановления или замены демпферов аналогами. В этих условиях становится очевидной потребность в разработке комплексного алгоритма выбора и расчета параметров пружинных демпферов, который позволял бы обеспечить максимальное снижение амплитуд крутильных колебаний и одновременно учитывать особенности конструкции, условия монтажа и эксплуатационные режимы судовой двигательной установки.

Необходима детальная проработка алгоритма, учитывающего конкретные условия эксплуатации судна, основанная на интеграции международного опыта и отечественных исследований крутильных колебаний валопровода гребного винта. В частности, рекомендации фирмы-производителя пружинных демпферов «Geislinger» (Австрия) [11], работы Л.В. Ефремова [12], М.М. Горбачева [13], С.Н. Царенко [14] (Россия) и других специалистов позволяют сформировать комплексный подход, включающий расчет оптимальных параметров листовых рессор, анализ спектра крутильных колебаний и оценку долговечности демпфера при заданных режимах эксплуатации.

Пружинные демпферы обладают рядом преимуществ, которые обеспечивают их широкое применение в судовых дизелях и других промышленных механизмах. Их конструкция позволяет сочетать упругое и гидравлическое демпфирование, что обеспечивает эффективное подавление крутильных колебаний различной формы. Масляное охлаждение и подача смазочного масла из циркуляционной системы судового дизеля снижают накопление продуктов износа и повышают стабильность характеристик пружинного демпфера, а ремонтпригодность обеспечивается заменой изношенных рессор, что продлевает общий срок службы демпфера и снижает общую стоимость обслуживания.

Несмотря на очевидные достоинства, пружинные демпферы также имеют свои ограничения. Их конструкция отличается высокой сложностью, что значительно усложняет их разработку, увеличивает число потенциальных отказов и требует регулярного контроля состояния. Высокая стоимость устройства, превышающая цену силиконовых аналогов более чем в два раза, обуславливает дополнительные затраты на периодическую разборную диагностику. Однако правильная эксплуатация данных демпферов обеспечивает высокую надежность и заключается в контроле давления и качества масла, а также теплового состояния демпфера, поскольку тепловая мощность, выделяемая данным типом демпфера, может достигать 50 кВт при расходе масла до 12 м³/ч [10]. Кроме того, замена пружинных пакетов, несмотря на техническую возможность проведения на самом судне, требует демонтажа демпфера с дизеля, применения специализированных инструментов и участия представителя завода изготовителя или Российского морского регистра судоходства. Отсутствие одобренной методики безразборной диагностики является ключевым ограничением в эксплуатации пружинных демпферов.

Силиконовый демпфер. Силиконовый демпфер представляет собой устройство, предназначенное для подавления крутильных колебаний валопровода и кривошипно-шатунного механизма судового дизеля за счет преобразования механической энергии колебаний в тепловую энергию через деформацию эластичного силиконового материала [15]. В отличие от пружинных демпферов, работающих преимущественно за счет упругих элементов и внутреннего трения, силиконовая вставка использует вязкоупругие свойства полимера, обеспечивая упругую реакцию при малых амплитудах и значительное гашение энергии при больших колебаниях, что существенно снижает вибрации и шумовые воздействия на корпус судна и элементы всего МДК. Пример внешнего вида силиконового демпфера приведен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид силиконового демпфера [16]

Выбор силиконового демпфера для конкретной судовой дизельной установки сопряжен с рядом технических сложностей, в общем виде схожих с проблемами подбора пружинных аналогов. Основными ограничениями являются малый ассортимент отечественных моделей, необходимость подбора заменителей для импортных демпферов, а также отсутствие единой методики расчета параметров. Существующие рекомендации базируются на данных производителей, таких как Trelleborg, SKF и ACE, а также на результатах исследований отечественных специалистов, однако требуют дальнейшей систематизации и интеграции в единую методику, способную обеспечить надежное функционирование судовой двигательной установки при разных эксплуатационных режимах.

Комплексный подход к выбору силиконового демпфера предполагает предварительное определение конкретных характеристик крутильных колебаний вала, включая частоту, амплитуду и спектр гармоник, последующий расчет требуемой жесткости и вязкоупругих свойств силиконового элемента, сопоставление этих параметров с модельным рядом демпферов с учетом условий монтажа, нагрузок и рабочей температуры, а также оценку ресурса и долговечности изделия для конкретных условий эксплуатации. Такой подход обеспечивает оптимальное согласование демпфера с характеристиками судового дизеля и повышает эффективность гашения колебаний.

Силиконовые демпферы обладают рядом эксплуатационных преимуществ, которые обуславливают их широкое применение в судовых дизелях и промышленном оборудовании. Конструкция силиконового демпфера проста и надежна: устройство состоит из корпуса, металлических фланцев и силиконового элемента, что снижает вероятность отказов и исключает необходимость в смазке. Вязкоупругие свойства силикона обеспечивают высокую эффективность демпфирования в широком диапазоне частот, позволяя гасить как малые, так и значительные амплитуды колебаний. Простота монтажа и демонтажа делает установку удобной без привлечения специалистов производителя, а устойчивость силиконового материала к коррозии и старению гарантирует долговечность и стабильность характеристик в широком диапазоне температур.

Вместе с тем силиконовые демпферы, также как и их пружинный аналог, имеют свои ограничения. Их способность гасить экстремальные крутильные колебания уступает пружинным демпферам при эксплуатации на тяжелых и высокооборотных валах. Эффективность демпфирования снижается при экстремально высоких температурах, когда силикон теряет часть вязкоупругих свойств. Возможности регулировки параметров демпфера ограничены: точная настройка частоты колебаний невозможна без замены силиконового элемента на аналог другой жесткости. Кроме того, в случае повреждения материала восстановление формы или эксплуатационных свойств невозможно, что требует полной замены демпфера.

В результате проведенного анализа выявлены принципиальные различия в конструктивных и функциональных характеристиках пружинных и силиконовых демпферов, применяемых в судовых дизельных установках. Они демонстрируют разные механизмы к гашению крутильных колебаний: пружинные обеспечивают высокую эффективность и регулировку при сложной эксплуатации и большой стоимости, тогда как силиконовые отличаются простотой, надежностью и минимальными эксплуатационными требованиями, но ограничены в работе при экстремальных нагрузках.

Комплексный анализ показывает, что выбор демпфера для конкретной судовой дизельной установки должен основываться на характеристиках крутильных колебаний валопровода, условиях эксплуатации и требованиях к надежности оборудования. Это обосновывает необходимость разработки и последующей апробации отечественных алгоритмов подбора и расчета параметров демпферов, что позволяет оптимизировать демпфирующие свойства, снизить вибрационные нагрузки на элементы машинно-двигательного комплекса и продлить ресурс судовых энергетических установок.

Литература

1. Царенко С.Н., Роменский Д.И., Корж А.С. Исследование резонансных явлений крутильных колебаний валопроводов гребных винтов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2024. – № 67. – С. 8-20. DOI: 10.17217/2079-0333-2024-67-8-20.
2. Царенко С.Н., Гараев Р.А. Динамика валопровода гребного винта при импульсном разгоне // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое

использование: Материалы XIII Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2022 г.) / Отв. за вып. Т.А. Ключкова. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2022. – С. 149–153. – EDN RQLTPC.

3. Emma Maersk Flooding of engine room on 1 February 2013. Marine Accident Report, The Danish Maritime Accident Investigation Board, 2013. – 58 p.

4. *Гирин С.Н.* Анализ поломки гребного вала теплохода «ЭЛАНД» / С.Н. Гирин, Ю.И. Матвеев // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 71 (2). – С. 15–27.

5. Torsional Vibration Simposium [Электронный ресурс]. – URL: <https://torsional-vibration-symposium.com/>

6. *Мамонтов В.А., Кушнер Г.А., Волков Д.А.* Анализ причин повреждений и отказов судовых валопроводов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Сер.: Морская техника и технология. – 2021. – № 3. – С. 33–39.

7. *Терских В.П.* Крутильные колебания валопровода силовых установок. В 4 т.: Монография. – Л.: Судостроение, 1977.

8. *Покусаев М.Н.* Демпфирование крутильных колебаний в валах судовых дизелей: моделирование, экспериментальные и натурные исследования: Дис. д-ра техн. наук. – Астрахань, 2005. – 346 с.

9. *Ibadullaev A.D., Kovalev O.P.* Spring dampers of torsional vibrations in modern marine diesel engines: advantages and disadvantages // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. – 2023. – № 2. – P. 66–73. – DOI 10.24143/2073-1574-2023-2-66-73. – EDN JAUZMY.

10. *Ибадуллаев А.Д.* Создание пружинного демпфера крутильных колебаний с листовыми рессорами с лучшей демпфирующей способностью судовой двигательной установки: специальность 2.5.20 «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)»: Дис. ... канд. техн. наук / Ибадуллаев Адель Дамирович; ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». – Астрахань, 2025. – 155 с.

11. Geislinger Monitoring System MK6. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.geislinger.com/en/products/product/geislinger-monitoring-mk6> (дата обращения: 31.10.2025).

12. *Ефремов Л.В.* Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий: Монография. – СПб.: Наука, 2007. – 276 с.

13. *Горбачев М.М., Покусаев М.Н.* Результаты испытаний прототипа системы мониторинга крутильных колебаний на судне «Иван Поддубный» // Наука и практика – 2022: Материалы Всерос. междисциплин. науч. конф. – Астрахань, 2022. – С. 271–274.

14. *Царенко С.Н., Горбачев М.М., Зайцев С.А.* Исследование крутильных колебаний валопровода на основе модели многоступенчатого стержня // Судостроение. – 2025. – № 2 (879). – С. 24–30. – EDN WCEKKA.

15. *Christie Grey Industrial Silicone Fluid Dampers* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.christiegrey.com/industrial/silicone-fluid-dampers> (дата обращения: 07.11.2025).

16. Крутильные колебания валопроводов. Миф или реальная опасность? / Быковский Д.Л., руководитель ЛТиВА в РЦПКБ «Стапель» [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.stapel.ru/about/news/krutilnye-kolebaniya-valoprovodov-mif-ili-realnaya-opasnost-/](https://www.stapel.ru/about/news/krutilnye-kolebaniya-valoprovodov-mif-ili-realnaya-opasnost/)

УДК 656.6:620.193:620.197

Н.В. Фатьянова

*Азербайджанская государственная морская академия,
Баку, AZ1000
e-mail: nice.natali92@mail.ru*

РОЛЬ ОКСИДА ЦИНКА В ФОРМИРОВАНИИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ И ПРОТИВООБРАСТАЮЩИХ СВОЙСТВ СУДОВЫХ ПОКРЫТИЙ

В работе рассмотрено влияние оксида цинка (ZnO) на эксплуатационные свойства судовых лакокрасочных материалов. Особое внимание уделено его роли как антикоррозионного модификатора и противобрастающей нанодобавки. Установлено, что ZnO способен формировать в покрытии плотный барьерный слой, участвовать в катодных процессах и инициировать фотокаталитические реакции, замедляющие коррозию. Нанодисперсные формы ZnO проявляют выраженную биоцидную активность, препятствуя прикреплению микро- и макроорганизмов на поверхности судовых конструкций. Включение 5–10% ZnO в состав алкидных эмалей типа ПФ-115 приводит к увеличению срока службы покрытия, снижению водопоглощения и повышению устойчивости к морским климатическим факторам.

Ключевые слова: оксид цинка, наночастицы, морские покрытия, коррозия, биообрастание, ПФ-115.

N.V. Fatyanova

*Azerbaijan State Marine Academy,
Baku, AZ1000
e-mail: nice.natali92@mail.ru*

ROLE OF ZINC OXIDE IN ANTICORROSION AND ANTIFOULING PROPERTIES OF MARINE COATINGS

The influence of zinc oxide (ZnO) on the performance of marine protective coatings is considered. Particular attention is given to its role as an anticorrosion modifier and antifouling nanofiller. It has been established that ZnO can form a dense barrier layer within the coating, participate in cathodic processes and initiate photocatalytic reactions that slow down corrosion. Nanosized ZnO exhibits pronounced biocidal activity, preventing the adhesion of micro- and macroorganisms to ship hull surfaces. The incorporation of 5–10% ZnO into alkyd enamel formulations such as PF-115 increases the service life of the coating, reduces water absorption and enhances resistance to marine climatic factors.

Key words: zinc oxide, nanoparticles, marine coatings, corrosion, biofouling, PF-115.

Защита металлических корпусов судов от агрессивного воздействия морской среды остается одной из важнейших задач современного судостроения. Высокая соленость воды, постоянные перепады влажности и температуры, ультрафиолетовое излучение, а также биообрастание различными организмами ускоряют процессы разрушения металла и значительно увеличивают сопротивление движению судна. Это приводит к росту эксплуатационных затрат и снижению срока службы флота.

Долгое время для защиты применялись пигменты на основе свинца, меди и олова. Однако экологические ограничения и неблагоприятное влияние этих соединений на морские экосистемы требуют поиска альтернативных решений. В последние годы внимание исследователей привлекают материалы, сочетающие надежность и экологическую безопасность.

Особый интерес представляет оксид цинка (ZnO), обладающий уникальным набором свойств: он действует как белый пигмент, усиливает барьерные характеристики полимерной матрицы, ингибирует катодные реакции и демонстрирует фотокаталитическую активность. В нанодисперсной форме эффективность ZnO возрастает многократно благодаря увеличению удельной поверхности частиц и их равномерному распределению в составе покрытия.

Цель данного исследования – выявить роль оксида цинка в формировании защитных характеристик судовых покрытий и определить оптимальные условия его применения в составе эмалей типа ПФ-115.

Оксид цинка – белый порошок, обладающий высокой твердостью, термостойкостью и фотокаталитической активностью. Благодаря своим полупроводниковым свойствам он способен вступать в реакции с активными формами кислорода, что способствует торможению процессов коррозии металлов.

Антикоррозионная активность ZnO обусловлена несколькими механизмами:

1. *Барьерный эффект.* Частицы ZnO способствуют уплотнению полимерной матрицы, уменьшая диффузию влаги, кислорода и агрессивных ионов (Cl^- , SO_4^{2-}).

2. *Катодное ингибирование.* ZnO участвует в замедлении катодных реакций (восстановления кислорода) за счет сорбции ионов и модификации электрического двойного слоя на границе металл/покрытие.

3. *Пассивирование.* В присутствии влаги ZnO может образовывать малорастворимые цинковые соли, выполняющие роль вторичных барьерных фаз.

4. *Фотокаталитическая активность.* Под действием УФ-излучения ZnO генерирует активные формы кислорода ($\bullet\text{OH}$, $\text{O}_2\bullet$), которые разрушают органические загрязнения и снижают адгезию микроорганизмов.

ZnO проявляет выраженную биоцидность в морской воде благодаря:

- образованию активных радикалов под действием УФ,
- нарушению целостности мембран морских микроорганизмов,
- ингибированию фотосинтетической активности микроводорослей.

При этом уровень токсичности ZnO для гидробионтов ниже, чем у соединений меди и олова, что делает его более экологически приемлемым компонентом судовых покрытий [1, 2].

Эффективность ZnO резко возрастает при переходе от микродисперсного к нанодисперсному состоянию.

Нанодисперсный ZnO характеризуется:

- Наночастицы диаметром 40–60 нм увеличивают удельную поверхность до 60–80 м²/г, обеспечивая более равномерное распределение в матрице.
- Электрохимические испытания показали, что покрытия с 7–10% нанодисперсного ZnO обладают в 1,5–2 раза большим временем индукционного периода коррозии по сравнению с покрытиями без ZnO.
- В морских климатических камерах срок появления первых признаков биообрастания увеличивается в среднем на 30–40%.

Модификация традиционных алкидных эмалей типа ПФ-115 нанодисперсным ZnO позволила:

- повысить адгезию покрытия к стали на 20–25%,
- снизить водопоглощение на 15–18%,
- увеличить стойкость в солевом тумане более чем на 500 часов.

Влияние содержания ZnO на эксплуатационные характеристики покрытий приведено в таблице. Видно, что при увеличении концентрации ZnO с 0 до 10 мас.% наблюдается рост адгезионной прочности с 6,5 до 8,3 МПа, снижение водопоглощения почти на 30% и увеличение стойкости в камере соляного тумана от 250 до 750 ч.

Влияние содержания ZnO на эксплуатационные характеристики покрытий

Содержание ZnO, мас.%	Адгезия, МПа	Водопоглощение, %	Стойкость в солевом тумане, ч
0	6,5	12,0	250
3	7,2	10,5	400
5	7,8	9,8	520
7	8,1	9,2	600
10	8,3	8,7	750

На рис. 1 представлена зависимость стойкости покрытий в камере соляного тумана от содержания ZnO. Установлено, что увеличение концентрации нанодисперсного ZnO приводит к росту коррозионной стойкости, причем наиболее выраженный эффект достигается при содержании 7–10 мас.%.

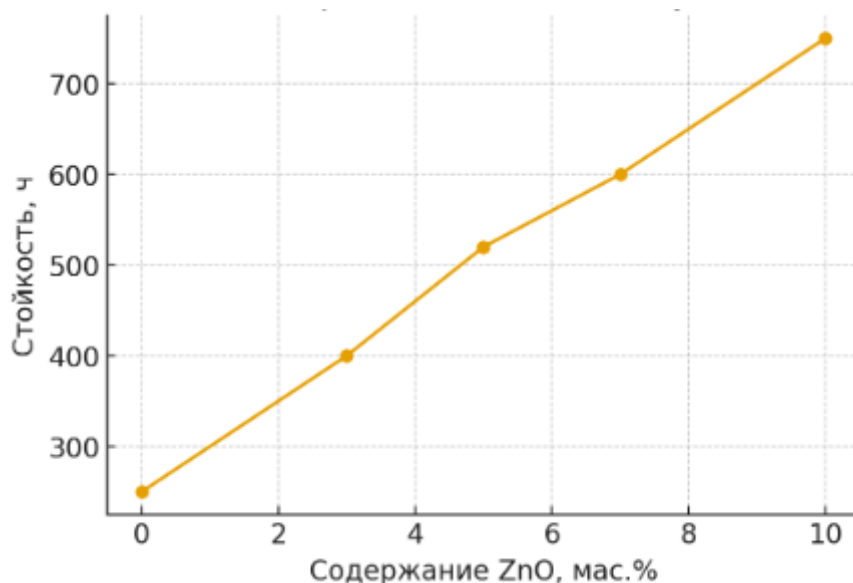


Рис. 1. Зависимость стойкости покрытий в солевом тумане от содержания ZnO

Таким образом, ZnO не только выступает как белый пигмент, но и функционирует как активная нанодобавка, комплексно улучшающая эксплуатационные характеристики ЛКМ.

Экспериментальные исследования показали, что покрытия с 5–10% ZnO обладают на 20–30% более высокой стойкостью в камере соляного тумана по сравнению с покрытиями без данной добавки [3, 4].

ZnO проявляет выраженное биоцидное действие за счет образования активных кислород-содержащих радикалов при взаимодействии с ультрафиолетом и влагой. Это препятствует прикреплению морских микроорганизмов (бактерий, водорослей) и последующему обрастанию корпуса судна.

Рис. 2 демонстрирует влияние содержания ZnO на биологическую стойкость покрытий при испытаниях в морской воде. Время до появления первых признаков биообрастания увеличивается с 30 сут (покрытие без добавки) до 60 сут при содержании 10 мас.% ZnO, что подтверждает его выраженные противообрастающие свойства.

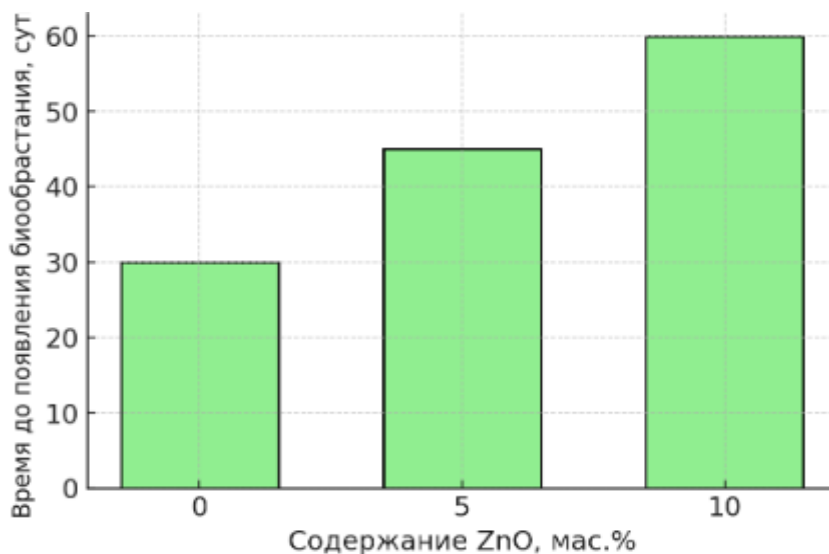


Рис. 2. Влияние содержания ZnO на биостойкость покрытий

В отличие от соединений меди, ZnO обладает меньшей токсичностью для водных экосистем, что делает его перспективным компонентом экологически безопасных судовых ЛКМ.

Повышение степени дисперсности ZnO значительно усиливает его эффективность. Наночастицы лучше распределяются в лакокрасочной матрице, обеспечивают равномерность структуры и создают дополнительные центры адсорбции влаги и агрессивных ионов.

Использование нанодисперсного ZnO в составе эмали ПФ-115 показало увеличение времени до появления первых признаков коррозии в морской воде более чем в 1,5 раза [5].

Проведенный анализ показал, что оксид цинка является универсальной функциональной добавкой для судовых лакокрасочных материалов. Его эффективность обусловлена комплексным действием: формированием барьерного слоя, влиянием на катодные реакции, образованием труднорастворимых соединений, а также фотокаталитической активностью.

Применение нанодисперсного ZnO существенно усиливает защитные свойства покрытий: увеличивается адгезия к металлической поверхности, снижается водопоглощение и возрастает стойкость в условиях солевого тумана и морской воды. Одновременно ZnO проявляет выраженные противообрастающие свойства, что продлевает срок эксплуатации судовых конструкций и снижает энергозатраты при их эксплуатации.

В отличие от традиционных соединений меди и олова, ZnO оказывает меньшее токсическое воздействие на морскую экосистему, что позволяет рассматривать его как перспективный компонент экологически безопасных судовых покрытий.

Таким образом, внедрение нанодисперсного оксида цинка в рецептуры алкидных эмалей, включая ПФ-115, можно считать одним из наиболее перспективных направлений разработки долговечных и экологически ориентированных материалов для морской техники.

Литература

1. *Фатьянова Н.В., Шарифов З.З., Исмаилов Н.Ш.* Лакокрасочные материалы – эффективные средства защиты от коррозии // Научные труды АГМА. – Баку, 2018. – № 1. – С. 24–30.
2. *Бирюков Ю.А., Бузник В.М. и др.* Ультрадисперсные и наноразмерные порошки. – Томск: НТЛ, 2009. – 195 с.
3. *Агаев Э.М., Кулиев А.З.* Современные тенденции разработки судовых противообрастающих покрытий // Судостроение. – 2020. – № 3. – С. 45–52.
4. *Zhang X., Wang Y., Li H.* Antifouling and anticorrosion properties of zinc oxide-based marine coatings // Progress in Organic Coatings, 2021. – Vol. 154. – Art. № 106202.
5. *Wang L., Chen J., Liu P.* Mechanisms of photocatalytic antifouling activity of ZnO nanoparticles // Surface & Coatings Technology, 2022. – Vol. 439. – Art. № 128401.

УДК 796:378

А.С. Щербаков, М.Ю. Бобров

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: sasha herb94@mail.ru*

**ПАТРИОТИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ МОЛОДЕЖИ
ПОСРЕДСТВОМ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА:
ПОТЕНЦИАЛ, МЕХАНИЗМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

В условиях стремительных социальных и геополитических изменений патриотическое воспитание молодежи приобретает особое значение, выступая фундаментальной основой национальной безопасности и устойчивого развития общества. Настоящая статья посвящена анализу потенциала физической культуры и спорта как мощного и эффективного инструмента формирования гражданской идентичности и патриотических качеств у подрастающего поколения. Рассматриваются ключевые механизмы, посредством которых спортивная деятельность способствует развитию волевых качеств, коллективизма, уважению к государственным символам, укреплению физического здоровья и обороноспособности страны. Особое внимание уделяется роли спорта в формировании национального самосознания через примеры выдающихся спортсменов и международные соревнования. Статья предлагает практические рекомендации по интеграции патриотического компонента в систему физического воспитания и спортивной подготовки.

Ключевые слова: патриотическое воспитание, молодежь, физическая культура, спорт, национальная идентичность, гражданственность, обороноспособность, здоровый образ жизни.

A.S. Shcherbakov, M.Yu. Bobrov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: sasha herb94@mail.ru*

**PATRIOTIC EDUCATION OF YOUTH THROUGH PHYSICAL CULTURE AND SPORT:
POTENTIAL, MECHANISMS AND PROSPECTS**

In the context of rapid social and geopolitical changes, the patriotic education of young people is of particular importance, serving as a fundamental basis for national security and sustainable development. This article focuses on the potential of physical culture and sports as a powerful and effective tool for fostering civic identity and patriotic qualities among the younger generation. The key mechanisms through which sport activities contribute to the development of strong-willed qualities, collectivism, respect for national symbols and the strengthening of physical health and national defense capabilities are considered. The role of sport in shaping national identity through the examples of outstanding athletes and international competitions is emphasized. The practical recommendations for integrating the patriotic component into the system of physical education and sports training are suggested.

Key words: patriotic education, youth, physical culture, sport, national identity, citizenship, defense capability, healthy lifestyle.

Патриотизм как система ценностных ориентаций, чувств и действий, направленных на благо Отечества, всегда являлся одним из краеугольных камней государственной политики и социального благополучия [1]. В современном мире, характеризующемся глобализацией, активными информационными потоками и трансформирующимися ценностями, задача формирования устойчивых патриотических убеждений у молодежи становится особенно актуальной. Отсутствие четких ориентиров и недостаточное внимание к этой сфере могут привести к деформации ценностной системы подрастающего поколения, снижению гражданской ответственности и ослаблению социальной сплоченности.

Традиционные методы патриотического воспитания, хотя и сохраняют свою значимость, нуждаются в дополнении и обогащении новыми, более интерактивными и привлекательными для молодежи формами. В этом контексте физическая культура и спорт, являясь универсальными социокультурными феноменами, обладают уникальным воспитательным потенциалом, который часто недооценивается или используется не в полной мере [2]. Занятия спортом не только способствуют физическому развитию, но и формируют целый комплекс личностных качеств, непосредственно связанных с патриотизмом и гражданственностью.

Целью настоящей статьи является анализ теоретических и практических аспектов использования потенциала физической культуры и спорта в системе патриотического воспитания молодежи, выявление основных механизмов его реализации и разработка рекомендаций по оптимизации данного процесса.

В процессе написания статьи использованы методы теоретического анализа, синтеза, обобщения и систематизации данных научных публикаций по проблемам патриотического воспитания, теории и методики физической культуры и спорта, а также педагогического опыта. Проведен анализ взаимосвязи между физической активностью и формированием гражданских и патриотических качеств личности.

Физическая культура и спорт предоставляют широкие возможности для патриотического воспитания молодежи благодаря своим специфическим характеристикам и механизмам воздействия на личность.

1. Формирование волевых качеств, дисциплины и ответственности.

Спортивная деятельность по своей сути неразрывно связана с преодолением трудностей, самодисциплиной, настойчивостью в достижении цели и способностью работать в команде. Регулярные тренировки, участие в соревнованиях, необходимость соблюдать правила и режим – все это воспитывает в молодом человеке такие качества, как целеустремленность, ответственность, мужество, выдержка и воля к победе. Эти качества являются фундаментом для формирования готовности к выполнению гражданского и воинского долга, способности к самопожертвованию и преодолению трудностей во имя общественных интересов [3].

2. Развитие чувства коллективизма и взаимопомощи.

Командные виды спорта являются мощным средством формирования коллективистских качеств. В процессе совместной тренировочной и соревновательной деятельности молодежь учится работать в единой связке, доверять партнерам, поддерживать друг друга, разделять успех и поражение. Чувство «мы», формирующееся в спортивной команде, легко проецируется на чувство принадлежности к более широкой общности – к народу, к нации. Это способствует укреплению социальной сплоченности и единства, что является неотъемлемым элементом патриотизма [4].

3. Воспитание уважения к государственным символам и традициям.

Спортивные мероприятия на всех уровнях – от школьных соревнований до Олимпийских игр – всегда сопровождаются использованием государственной символики: поднятие флага, исполнение гимна, ношение национальной формы. Эти ритуалы, наполненные глубоким смыслом, вызывают у спортсменов и зрителей чувство гордости за свою страну. Победы российских атлетов на международных аренах, когда над пьедесталом поднимается российский флаг и звучит гимн, становятся мощным эмоциональным стимулом для формирования национальной гордости и уважения к своей Родине [5]. Кроме того, занятия различными видами спорта, особенно традиционными, позволяют сохранять и развивать культурное наследие страны, передавать из поколения в поколение ценности и обычаи.

4. Укрепление физического здоровья и обороноспособности.

Физическая культура и спорт напрямую способствуют укреплению здоровья молодежи, повышению выносливости и физической подготовленности. Здоровый образ жизни, прививаемый с помощью спорта, является основой для формирования сильного и дееспособного поколения, готового к труду и защите Отечества. Программы, подобные возрожденному комплексу «Готов к труду и обороне» (ГТО), целенаправленно ориентированы на физическую подготовку граждан к выполнению требований военной службы и другим видам государственной деятельности, тем самым прямо способствуя патриотическому воспитанию [6].

5. Пропаганда здорового образа жизни и отказ от деструктивных привычек.

Спорт является мощным антиподом деструктивным явлениям в молодежной среде, таким как наркомания, алкоголизм, табакокурение. Увлечение спортом, стремление к высоким резуль-

татам, необходимость поддерживать физическую форму естественным образом отталкивают от вредных привычек, формируя у молодежи осознанную потребность в здоровом образе жизни. Здоровое поколение – это сильное поколение, способное строить будущее своей страны [7].

6. Личный пример и героизация спортсменов.

Выдающиеся спортсмены, прославившие свою страну на мировой арене, становятся национальными героями и мощными ролевыми моделями для молодежи. Их победы, упорство, воля к победе, стойкость в преодолении трудностей вдохновляют молодых людей, демонстрируют величие и потенциал нации. Истории их жизни, их путь к успеху – это наглядные уроки патриотизма, самоотверженности и любви к Родине. Пропаганда достижений таких спортсменов через СМИ и образовательные программы значительно усиливает воспитательный эффект [8].

7. Развитие межкультурного диалога и повышение международного престижа страны.

Участие в международных спортивных соревнованиях, проведение крупных спортивных событий на территории страны (например, Олимпийских игр, Чемпионатов мира) способствуют не только укреплению национального самосознания, но и налаживанию межкультурного диалога. Спортсмены становятся «послами» своей страны, представляя ее культуру, характер и ценности. Успешное выступление на международной арене поднимает престиж государства, формируя чувство гордости за достижения своей нации у всего населения.

Для максимально эффективного использования потенциала физической культуры и спорта в патриотическом воспитании молодежи необходимы:

- *Интеграция патриотического компонента в учебные программы* – включение в уроки физической культуры и тренировочный процесс элементов, направленных на изучение истории российского спорта, знакомство с биографиями выдающихся спортсменов-патриотов, обсуждение роли спорта в укреплении страны.

- *Организация тематических спортивных мероприятий* – проведение соревнований, эстафет, спартакиад, посвященных государственным праздникам, памятным датам, героическим событиям российской истории, с использованием соответствующей символики и атрибутики.

- *Активное использование военно-прикладных видов спорта* – развитие и популяризация видов спорта, имеющих оборонное значение (армейский рукопашный бой, стрельба, многоборье ГТО, военно-спортивные игры), как средства подготовки молодежи к защите Отечества.

- *Взаимодействие с ветеранскими организациями* – привлечение ветеранов спорта и боевых действий к участию в спортивных мероприятиях, проведение встреч, уроков мужества, что позволит передать ценностный опыт и примеры служения Родине.

- *Информационно-просветительская работа* – активное освещение в СМИ, социальных сетях, образовательных учреждениях достижений российских спортсменов, их вклада в престиж страны, а также популяризация здорового образа жизни и патриотических ценностей через спорт.

- *Развитие системы ГТО* – дальнейшее укрепление и популяризация комплекса ГТО как инструмента комплексного физического и патриотического воспитания, стимулирование молодежи к выполнению нормативов.

Физическая культура и спорт являются не только инструментом развития физических качеств, но и мощным механизмом формирования патриотического сознания молодежи. Через дисциплину и самоконтроль, коллективную работу и достижение общих целей, уважение к символам и традициям, а также личный пример выдающихся спортсменов, физическая активность прививает ценности, лежащие в основе истинного патриотизма. Она способствует укреплению здоровья нации, повышению ее обороноспособности, формированию гражданской ответственности и гордости за свою страну.

Использование этого потенциала требует системного и целенаправленного подхода, интеграции патриотической составляющей во все звенья системы физического воспитания и спортивной подготовки. Только комплексный подход позволит воспитать поколение молодых людей, способных к созидательному труду, готовых защищать интересы своей Родины и активно участвовать в ее развитии, что является залогом процветания государства в целом.

Литература

1. *Иванов П.С.* Патриотизм в современном российском обществе: вызовы и перспективы. – М.: Просвещение, 2020. – 210 с.

2. *Петров А.Н.* Роль физической культуры в формировании гражданской идентичности молодежи // Вестник спортивной науки. – 2019. – № 3. – С. 45–52.
3. *Сидоров В.И.* Воспитание волевых качеств средствами спорта // Теория и практика физической культуры. – 2021. – № 1. – С. 18–23.
4. *Кузнецов О.М.* Командные виды спорта как фактор развития коллективизма и взаимопомощи у подростков // Мир спорта. – 2018. – № 4. – С. 78–84.
5. *Григорьева Л.А.* Государственная символика в спорте: формирование национальной гордости // Актуальные проблемы физической культуры. – 2022. – № 2. – С. 112–118.
6. *Комаров Д.С.* Комплекс ГТО как система патриотического и физического воспитания // Спорт и здоровье. – 2017. – № 1. – С. 35–42.
7. *Захарова Е.В.* Спорт как средство профилактики девиантного поведения среди молодежи // Вестник педагогических наук. – 2020. – № 5. – С. 98–105.
8. *Михайлов Р.К.* Спортсмен как ролевая модель: формирование ценностных ориентаций у молодежи // Образование и спорт. – 2019. – № 2. – С. 60–67.

СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.5.017

Б.В. Баженов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: kletn@yandex.ru*

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАПУСКА СУДОВОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Материал посвящен разработке автоматизированной системы запуска судового дизель-генератора. Дано описание потенциальных преимуществ данной системы. Предложенная система обеспечивает повышение надежности оборудования, снижение эксплуатационных расходов, улучшение условий труда.

Ключевые слова: автоматизированная система запуска, программируемый логический контроллер (ПЛК), датчики и измерительные устройства, протокол Modbus, CAN.

B.V. Bazhenov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: kletn@yandex.ru*

AUTOMATED SYSTEM DEVELOPMENT FOR LAUNCHING SHIP DIESEL GENERATOR

The material is devoted to the development of an automated system for launching a ship diesel generator. The potential advantages of this system are described. The proposed system provides an increase in equipment reliability, reduction of operating costs, improvement of working conditions.

Key words: automated launch system, programmable logic controller (PLC), sensors and measuring devices, Modbus protocol, CAN.

Судовая энергетическая установка – это сердце любого современного судна, обеспечивающее работу навигационного оборудования, систем связи, грузовых механизмов и бытовых приборов экипажа. Ключевую роль в ней играют дизель-генераторы (ДГ), преобразующие механическую энергию в электрическую [1]. Надежность и бесперебойность электроснабжения являются критически важными факторами безопасности мореплавания. В этой связи разработка и внедрение автоматизированной системы запуска судового дизель-генератора (АСЗ ДГ) перестают быть просто вопросом удобства, а становятся необходимым элементом повышения живучести судна, эффективности использования ресурсов и снижения нагрузки на судовой персонал. Такая система призвана исключить человеческий фактор, оперативно реагировать на изменения нагрузки и аварийные ситуации, обеспечивая постоянную доступность электроэнергии.

Автоматизированная система запуска судового дизель-генератора представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления работой генераторных установок без непосредственного участия оператора. Ее разработка базируется на нескольких ключевых принципах и включает в себя следующие основные компоненты и функции.

1. Архитектура и компоненты системы

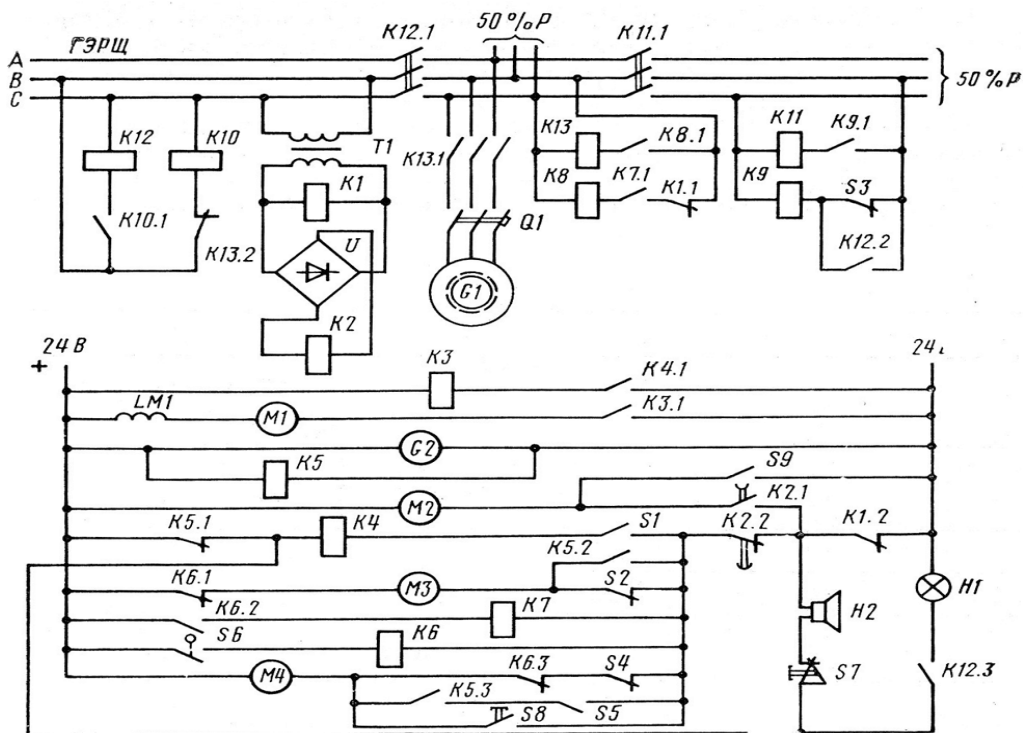
Современная АСЗ ДГ строится на основе программируемого логического контроллера (ПЛК), который является ее «мозгом» [2]. К контроллеру через дискретные и аналоговые входы/выходы подключаются:

- датчики и измерительные устройства: датчики давления масла, температуры охлаждающей жидкости, частоты вращения вала, уровня топлива, напряжения и тока в генераторе;
- исполнительные механизмы: стартер, соленоид-клапаны топливной системы, электромагнитные клапаны системы предпускового подогрева, приводы дроссельной заслонки;
- устройства связи: модули для интеграции в общесудовую сеть (например, по протоколам Modbus, CAN), а также интерфейс для связи с главным распределительным щитом (ГРЩ) [3];
- панель оператора (НМГ): обеспечивает визуализацию состояния ДГ, позволяет задавать уставки, переключать режимы работы (Авто/Ручной/Стоп) и отображает аварийные сигналы и события.

2. Логика работы и алгоритмы

Ядром системы является программный алгоритм, реализованный в ПЛК [4]. Его работа состоит из нескольких последовательных этапов:

- *Мониторинг и анализ.* Система постоянно отслеживает параметры работающего генератора и нагрузку на судовую сеть. При падении напряжения или частоты (например, из-за перегрузки или остановки работающего ДГ) формируется сигнал на запуск резервного агрегата.
- *Предпусковая подготовка.* Перед запуском система выполняет проверку. Проверяет уровень масла и охлаждающей жидкости. Активирует систему предпускового подогрева (при низкой температуре в машинном отделении). Прокачивает топливную систему для удаления воздуха.
- *Процедура запуска.* Подается команда на стартер. Одновременно с этим может осуществляться подача топлива. Система контролирует время прокрутки и делает паузы для предотвращения перегрева стартера.
- *Контроль успешности запуска.* После появления вспышек в цилиндрах система отслеживает рост частоты вращения и масляного давления. Если в заданное время (обычно 10–15 секунд) запуск не произошел, система прекращает попытку, выдает аварию и может автоматически перейти к попытке запуска следующего резервного ДГ.
- *Выход на режим и подключение к сети.* После достижения номинальных оборотов и стабилизации параметров, система через автомат генератора синхронизирует его с судовой сетью и производит подключение.
- *Остановка и прогон.* При нормализации нагрузки или по команде оператора система снимает нагрузку, отключает генератор от сети и дает ему поработать на холостом ходу для охлаждения перед полной остановкой (рисунок).



Принципиальная схема автоматического пуска дизель-генератора ДГ

3. Преимущества автоматизации

Внедрение АСЗ ДГ предоставляет ряд неоспоримых преимуществ:

- *Повышение надежности.* Мгновенная реакция на отказ основного источника питания, исключающая задержки, связанные с действиями вахтенного механика.
- *Оптимизация ресурса.* Автоматический последовательный запуск разных ДГ обеспечивает равномерную наработку часов, продлевая межремонтный период всего дизель-генераторного парка.
- *Снижение эксплуатационных расходов.* Экономия топлива за счет оптимального управления количеством работающих агрегатов в зависимости от нагрузки.
- *Улучшение условий труда.* Система берет на себя рутинные операции, позволяя экипажу сосредоточиться на контроле и решении более сложных задач.

Разработка автоматизированной системы запуска судового дизель-генератора – это сложная, но абсолютно оправданная инженерная задача, соответствующая современным тенденциям в судостроении – цифровизации и повышению уровня автономности. Грамотно спроектированная АСЗ ДГ не просто заменяет человека, а существенно превосходит его по скорости и безошибочности реакции в критических ситуациях. Она становится интеллектуальным элементом энергосистемы, обеспечивающим ее живучесть, экономичность и бесперебойность. Дальнейшее развитие таких систем связано с внедрением более сложных алгоритмов прогнозирования нагрузки, интеграцией в системы технического диагностирования и профилактического обслуживания, что в конечном итоге ведет к созданию полностью автономной и самовосстанавливающейся судовой энергетической установки.

Литература

1. *Ваньшин В.Н.* Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. – М.: Моркнига, 2018. – 312 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов / Российский морской регистр судоходства. – СПб., 2023. – Т. 2. – Гл. 5.3 «Электроэнергетические установки».
3. ГОСТ Р ИСО 8528-5-2016. Дизельные генераторные установки с двигателями с воспламенением от сжатия. Часть 5. Генераторные агрегаты. – Введ. 2017-01-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 45 с.
4. *Петров А.И., Карнов С.П.* Автоматизация судовых энергетических установок. – Одесса: Феникс, 2019. – 280 с.

УДК 621.313.322

А.М. Волков

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: fxyO2002@gmail.com*

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ НА СУДАХ ТИПА БМРТ

Материал посвящен проблемам эксплуатации устаревших систем возбуждения генераторов на судах типа БМРТ. Произведен анализ недостатков существующей системы на примере БМРТ «Борис Трофименко». Предложен проект модернизации с заменой электромашинной системы возбуждения на статическую тиристорную систему. Приведены ожидаемые технико-экономические преимущества модернизации.

Ключевые слова: система возбуждения, генератор, БМРТ, тиристорный возбудитель, синхронный генератор, надежность, судовое электрооборудование.

A.M. Volkov

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: fxyO2002@gmail.com*

PROJECT DEVELOPMENT FOR MODERNIZATION OF GENERATOR EXCITATION SYSTEM ON LARGE REFRIGERATOR TRAWLERS

The material is devoted to the operational problems of outdated generator excitation systems on large refrigerator trawlers (LRT). An analysis of the shortcomings of the existing system using the example of the LRT "Boris Trofimenko" is carried out. A modernization project involving the replacement of the electromechanical excitation system with a static thyristor system is proposed. The expected technical and economic advantages of the modernization are presented.

Key words: excitation system, generator, LRT, thyristor exciter, synchronous generator, reliability, marine electrical equipment.

Большие морозильные рыболовные траулеры (БМРТ), такие как «Борис Трофименко», составляют основу рыбодобывающего флота Дальневосточного региона. Несмотря на солидный возраст, эти суда продолжают эксплуатироваться благодаря своей надежной конструкции. Однако ключевые системы, в частности электроэнергетические, морально и физически устарели. Одной из самых проблемных систем является система возбуждения главных генераторов.

Штатная система возбуждения на БМРТ – электромашинная, с возбудителем на валу главного генератора и корректором мощности. Данная система обладает рядом существенных недостатков: низкое быстродействие, необходимость постоянного обслуживания щеточного аппарата (искрение, износ щеток), зависимость характеристик от состояния подшипников и вибрации вала, сложность регулирования и недостаточная стабильность напряжения при резких изменениях нагрузки (например, при запуске мощных электролебедок или рыбоморозильных аппаратов).

Целью данной работы является разработка технического проекта модернизации системы возбуждения генераторов на судне «Борис Трофименко» с заменой электромашинной системы на современную статическую систему возбуждения с трансформатором фазового компаундирования.

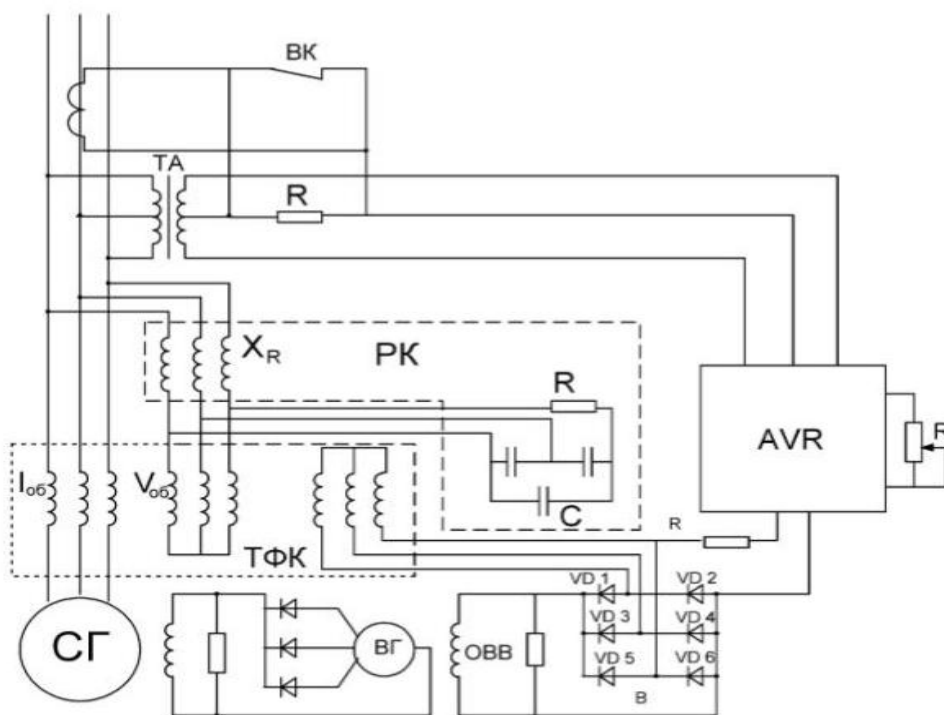
На судне БМРТ «Борис Трофименко» установлены синхронные генераторы типа ГСФ с электромашинной системой возбуждения [1, 2]. Система включает возбудитель постоянного тока, установленный на валу основного генератора, и механический корректор напряжения.

Основные проблемы существующей системы:

- низкая надежность щеточного аппарата – в условиях морской эксплуатации происходит интенсивное окисление и износ коллектора и щеток, что приводит к искрению и возможным отказам.
- недостаточное быстродействие – система медленно реагирует на резкие изменения нагрузки, вызывая колебания напряжения в судовой сети;
- высокие эксплуатационные расходы – необходимость регулярной замены щеток, чистки коллектора и регулировки щеточного аппарата;
- зависимость от механического состояния – работа системы зависит от состояния подшипников, биения вала и вибрационных характеристик [3].

Предлагаемое решение

Для модернизации системы возбуждения генераторов на судне «Борис Трофименко» предлагается статическая система возбуждения с трансформатором фазового компаундирования (ТФК) (рисунок). Данная система полностью исключает вращающиеся части и щеточный аппарат, что кардинально повышает надежность.



Принципиальная схема статической системы возбуждения:

СГ – синхронный генератор; ТА – трансформатор тока; ТФК – трансформатор фазового компаундирования; XR – реактор; B – выпрямительный блок на полупроводниковых диодах; BK – выключатель контроллера; ВГ – возбудитель генератора для начального возбуждения

Принцип работы системы

Работа модернизированной системы основана на принципе фазового компаундирования:

- формирование сигнала возбуждения – напряжение и ток генератора поступают на соответствующие обмотки трансформатора фазового компаундирования (ТФК), который геометрически суммирует эти сигналы;
- выпрямление напряжения – сформированное переменное напряжение с выхода ТФК поступает на выпрямительный блок, где преобразуется в постоянный ток для питания обмотки возбуждения генератора;
- стабилизация процесса – реактор и конденсаторы обеспечивают стабильность процесса возбуждения и улучшение формы кривой тока;
- начальное возбуждение – выключатель контроллера обеспечивает подключение цепи начального возбуждения от возбудителя генератора при пуске системы.

Ожидаемые преимущества от модернизации системы возбуждения на судне «Борис Трофименко»:

- повышение надежности – исключение щеточного аппарата и вращающихся частей увеличит межремонтный период с 2 000 до 8 000 часов [4];
- снижение эксплуатационных расходов – экономия на замене щеток и обслуживании составит примерно 150 тыс. руб. в год на один генератор;
- улучшение качества электроэнергии – стабилизация напряжения в пределах $\pm 2\%$ вместо существующих $\pm 5\%$;
- повышение КПД – увеличение КПД системы возбуждения с 85 до 95%.

Этапы реализации проекта

Модернизация системы возбуждения на судне «Борис Трофименко» предусматривает следующие этапы:

1. Подготовительный этап – разработка рабочей документации и закупка оборудования.
2. Демонтаж существующей системы возбуждения.
3. Монтаж новой статической системы.
4. Пуско-наладочные работы и испытания.
5. Ввод в эксплуатацию.

Разработанный проект модернизации системы возбуждения генераторов на судне БМРТ «Борис Трофименко» позволяет существенно повысить надежность и экономичность работы судовой электростанции. Внедрение статической системы возбуждения с трансформатором фазового компаундирования обеспечит стабильное электроснабжение судовых потребителей и снизит эксплуатационные расходы.

Реализация проекта позволит продлить срок эффективной эксплуатации судна и повысит его технологическую привлекательность для дальнейшего использования в рыбодобывающей отрасли.

Литература

1. Техническая документация на синхронный генератор СГС-630-4 судна БМРТ «Борис Трофименко»: Архив судовладельца.
2. Справочник по судовым электроэнергетическим системам / Под ред. И.А. Громова. – СПб.: Судостроение, 2010. – 520 с.
3. Правила классификации и постройки морских судов. – Российский морской регистр судоходства, 2021.
4. Катаев С.Н., Обухович Г.С. Автоматическое регулирование напряжения судовых синхронных генераторов. – Л.: Судостроение, 1985. – 280 с.

УДК 620.19:629.5.023

М.М. Горбачев¹, Д.П. Ястребов², В.А. Швецов², О.А. Белавина², В.О. Косыгин²

¹ *Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, 414056;*

² *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ ЦИНКОВЫХ ПРОТЕКТОРОВ

Процедура контроля антикоррозионной защиты производится как при постройке судов и установки новых протекторов, так и в процессе эксплуатации судна, а также при ремонте, установке протекторов заводской сборки и проверке их качества. Существующие на сегодняшний день технические средства диагностирования работоспособности коррозионной защиты, как правило, базируются на ручном методе контроля. Согласно нормативным документам, экипажи морских судов должны контролировать техническое состояние систем электрохимической защиты судов от коррозии. Экипажи судов камчатского флота контроль технического состояния отдельных протекторов не выполняют из-за отсутствия автоматизированного метода данного контроля. Актуальность разработки автоматизированной системы контроля обусловлена несколькими важными факторами. Но ручные исследования у экипажей судов вызывают трудности, также стоит учитывать риск возникновения ошибки из-за человеческого фактора. Основные причины данных недостатков – отсутствие доступных средств автоматизированного контроля и методик измерений, недостаточная компетенция экипажей в данной области. Авторы разработали метод автоматизированного контроля технического состояния цинковых протекторов, который может быть использован на судах камчатского флота.

Ключевые слова: коррозионная защита корпусов судов, защитный потенциал, неразрушающий контроль, судовые цинковые протекторы, контрольные измерения разности потенциалов.

M.M. Gorbachev¹, D.P. Yastrebov², V.A. Shvetsov², O.A. Belavina², V.O. Kosygin²

¹ *Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, 414056;*

² *Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

IMPROVING THE PROCESS OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF MARINE ZINC PROTECTORS

Corrosion protection monitoring procedures are performed during vessel construction and the installation of new protectors, as well as during vessel operation, as well as during repairs, when installing factory-assembled protectors, and checking their quality. Current technical means for diagnosing corrosion protection performance are typically based on manual inspection. According to regulatory documents, seagoing vessel crews must monitor the technical condition of vessels electrochemical corrosion protection systems. Crews on Kamchatka Fleet vessels do not monitor the technical condition of individual protectors due to the lack of automated method for this monitoring. The development of automated monitoring system is urgently needed due to several important factors. However, manual inspections pose difficulties for vessel crews, and the risk of human error must also be considered. The main reasons for these shortcomings are the lack of accessible automated monitoring tools and measurement methods, as well as the insufficient competence of crews in this area. The authors have developed the method for automated monitoring of the technical condition of zinc protectors which can be used on Kamchatka Fleet vessels.

Key words: corrosion protection of ship hulls, protective potential, non-destructive testing, ship zinc protectors, control measurements of potential difference.

Согласно нормативным документам (НД) [1, 2], экипажи морских судов должны контролировать техническое состояние систем электрохимической защиты судов от коррозии. В состав таких систем входят протекторные системы защиты от коррозии элементов судовой электрической установки (СЭУ).

В первую очередь необходимо контролировать техническое состояние отдельных цинковых и стальных протекторов, входящих в состав систем протекторной защиты СЭУ [3]. Необходимые контрольные измерения следует выполнять с помощью хлорсеребряных электродов сравнения (ХСЭ) [1–3].

Экипажи судов камчатского флота контроль технического состояния отдельных протекторов не выполняют из-за отсутствия автоматизированного метода данного контроля. В статье рассмотрен один из подходов к решению этой проблемы.

Цель статьи – разработка автоматизированного метода контроля технического состояния отдельных цинковых протекторов на судах камчатского флота.

Для достижения поставленной цели был проведен следующий планируемый эксперимент с учетом результатов работ [4, 5]. Измеряли разность потенциалов между цинковым протектором и ХСЭ в период времени с 12.03.2025 по 18.03.2025 и с 01.04.2025 по 07.04.2025 в лаборатории КамчатГТУ.

Для выполнения контрольных измерений использовали автоматизированную установку, приведенную на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид автоматизированного устройства для неразрушающего контроля технического состояния протекторов морских судов

Контрольные измерения выполняли ежедневно. При этом выполняли 48 единичных измерений в сутки (представительная выборка результатов измерений). Интервал времени между единичными измерениями составлял 30 мин. Температура морской воды, в которую погружали цинковый протектор и ХСЭ, находилась в интервале 22–23°C. Для математической обработки результатов измерений использовали программное обеспечение Excel.

Выборочные результаты суточных контрольных измерений, выполненных в период с 12.03.2025 по 18.03.2025 приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Выборочные результаты суточных контрольных измерений выполненных в период с 12.03.2025 по 18.03.2025

№ п/п	Результаты суточных контрольных измерений разности потенциалов, мВ						
	12.03.2025	13.03.2025	14.03.2025	15.03.2025	16.03.2025	17.03.2025	18.03.2025
1	1 004	1 006	1 004	1 002	981	976	982
2	988	990	992	1001	985	1 001	975
3	1 004	981	1 004	976	997	981	981
4	979	1 003	982	1 002	990	1 003	993
5	1 006	1 005	982	1 002	1 004	974	974
6	989	999	982	974	975	978	986
7	978	976	1 003	985	986	974	962
8	1 005	976	978	983	999	1 002	986
9	1 002	1 006	976	1 003	976	975	988
10	1 003	986	987	1 001	1 002	1 003	988
11	995	1 003	1 005	1 001	1 002	978	985
12	1 002	1 002	1 003	1 004	973	982	977
13	1 003	977	993	1 002	973	997	968
14	1 003	999	1 003	1 005	999	997	988
15	977	1 004	1 006	1 002	998	971	989
16	1 002	1 005	1 003	977	991	1 001	985
17	1 002	988	1 003	1 003	1 001	998	961
18	1 003	977	969	1 003	999	998	988
19	978	1 006	992	981	986	970	985
20	1 006	985	1 000	976	994	997	982
21	999	979	999	1 000	998	989	988
22	1 003	997	976	974	974	977	963
23	1 007	1 003	973	994	970	997	972
24	1 005	977	988	987	1 002	1 001	991
25	1 002	978	976	998	974	1 001	989
26	977	977	998	978	998	984	963
27	1 004	1 001	1 001	997	989	971	964
28	1 002	993	1 000	974	998	969	986
29	1 006	1 000	978	999	977	987	989
30	1 000	979	999	999	976	1 000	964
31	1 003	1 001	999	979	987	997	992
32	1 000	1 002	971	994	983	971	989
33	989	1 002	1 001	988	975	972	980
34	977	984	991	985	973	996	968
35	1 003	990	998	1 001	1 000	1 001	992
36	989	980	999	999	1 001	1 002	991
37	977	976	1 001	1 001	997	1 002	964
38	990	1002	996	985	976	982	990
39	984	977	999	995	977	1 000	992
40	1 002	985	1 001	1 003	978	986	993
41	1 005	1 003	989	994	1 003	975	990
42	1 005	1 004	1 001	976	977	1007	976
43	979	1 002	999	1 004	994	989	993
44	1 003	1 003	1 001	1 005	977	975	991
45	1 007	1 003	980	1 003	979	994	964
46	1 006	1 000	976	992	980	994	995
47	1 003	982	985	973	978	993	992
48	978	1 002	1 001	993	1 002	979	991

Таблица 2

Результаты статистической обработки показателей эксперимента с 12.03.2025 по 18.03.2025

Показатели эксперимента	Значения показателей, полученных при контрольных испытаниях в день						
	12.03.2025	13.03.2025	14.03.2025	15.03.2025	16.03.2025	17.03.2025	18.03.2025
Интервал значений измерения потенциала, мВ	977-1 007	976-1 006	969-1 006	973-1 005	970-1 004	969-1 007	961-995
Количество измерений в выборке	48	48	48	48	48	48	48

Показатели эксперимента	Значения показателей, полученных при контрольных испытаниях в день						
	12.03.2025	13.03.2025	14.03.2025	15.03.2025	16.03.2025	17.03.2025	18.03.2025
Среднее значение потенциала, мВ	997	993	993	993	988	988	982
Дисперсия, S_n^2	112	126	120	117	124	142	114
Стандартное отклонение, S_n	11	11	11	11	11	12	11
Коэффициент вариации, %	1,061	1,130	1,103	1,089	1,127	1,209	1,088

Динамика средних суточных результатов контрольных измерений, полученных в марте, приведена на рис. 2.

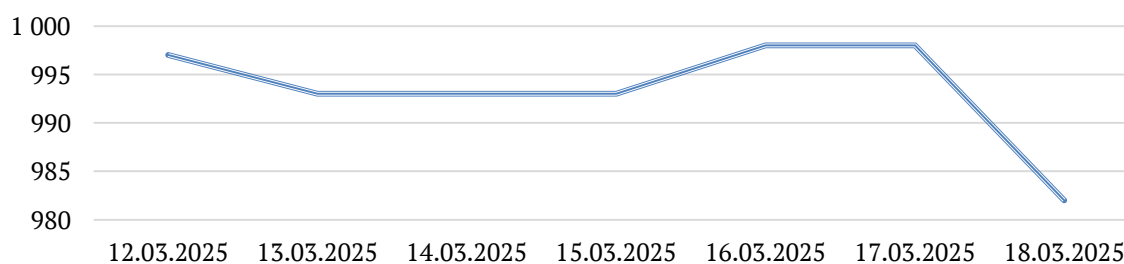


Рис. 2. Динамика средних суточных контрольных измерений разности потенциалов между цинковым протектором и ХСЭ

Из рис. 2 видно, что результаты суточных средних значений контрольных измерений стабильны, что соответствует работоспособному состоянию исправного электрода сравнения. Коэффициент вариации средних суточных значений составляет около 1% (табл. 2). Из табл. 2 следует, что результаты контрольных единичных измерений относятся к категории точных измерений. Выборочные средние суточные результаты контрольных измерений, выполненные в период с 01.04.2025 по 07.04.2025, приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Выборочные результаты суточных контрольных измерений выполненных в период с 01.04.2025 по 07.04.2025

№ п/п	Результаты суточных контрольных измерений разности потенциалов, мВ						
	01.04.2025	02.04.2025	03.04.2025	04.04.2025	05.04.2025	06.04.2025	07.04.2025
1	980	991	995	970	994	969	994
2	996	992	985	967	982	984	994
3	995	976	968	995	994	995	993
4	968	965	972	980	976	995	986
5	994	976	993	968	994	997	993
6	994	966	973	993	997	993	967
7	997	991	986	967	973	967	995
8	970	993	969	995	993	995	972
9	996	993	986	967	996	970	978
10	968	992	979	972	975	982	993
11	969	967	995	993	971	967	977
12	994	992	995	977	982	981	978
13	986	994	987	970	974	990	993
14	994	993	997	986	980	967	996
15	988	994	969	969	990	989	992
16	994	966	966	995	987	987	996
17	995	995	973	994	991	986	994
18	995	991	995	973	989	967	966
19	979	979	983	994	992	965	991
20	994	991	994	995	993	993	994
21	989	975	987	970	971	992	968

№ п/п	Результаты суточных контрольных измерений разности потенциалов, мВ						
	01.04.2025	02.04.2025	03.04.2025	04.04.2025	05.04.2025	06.04.2025	07.04.2025
22	971	966	994	993	974	988	994
23	973	977	985	994	987	996	996
24	971	983	995	987	979	993	972
25	997	995	994	994	970	995	991
26	989	986	968	986	997	994	969
27	975	977	987	972	981	994	968
28	997	968	967	971	971	978	994
29	996	994	994	996	995	971	992
30	996	966	968	990	994	993	995
31	997	981	972	996	995	977	967
32	995	995	967	994	978	967	993
33	979	987	982	995	967	995	971
34	968	994	979	971	997	970	967
35	997	997	994	995	996	996	995
36	977	986	994	994	987	990	994
37	984	983	976	994	994	994	994
38	996	969	987	971	997	997	985
39	993	993	994	978	997	979	994
40	972	993	970	994	971	968	995
41	976	994	996	994	994	991	968
42	982	988	992	985	977	998	994
43	980	998	967	997	973	995	993
44	987	970	997	994	996	994	993
45	989	968	994	995	975	998	995
46	994	988	971	992	996	997	971
47	994	996	970	994	992	968	973
48	976	976	968	984	969	978	980

Таблица 4

Результаты статистической обработки показателей эксперимента с 01.04.2025 по 07.04.2025

Показатели эксперимента	Значения показателей, полученных при контрольных испытаниях в день						
	01.04.2025	02.04.2025	03.04.2025	04.04.2025	05.04.2025	06.04.2025	07.04.2025
Интервал значений измерения потенциала, мВ	968-997	966-997	966-997	967-997	967-997	967-998	966-996
Количество измерений в выборке	48	48	48	48	48	48	48
Среднее значение потенциала, мВ	986	984	983	985	985	985	985
Дисперсия, S^2_n	105	117	125	120	98	129	124
Стандартное отклонение	10	11	11	11	10	11	11
Коэффициент вариации	1,040	1,099	1,137	1,113	1,004	1,155	1,129

Динамика средних суточных результатов измерений, полученных в апреле, приведена на рис. 3.

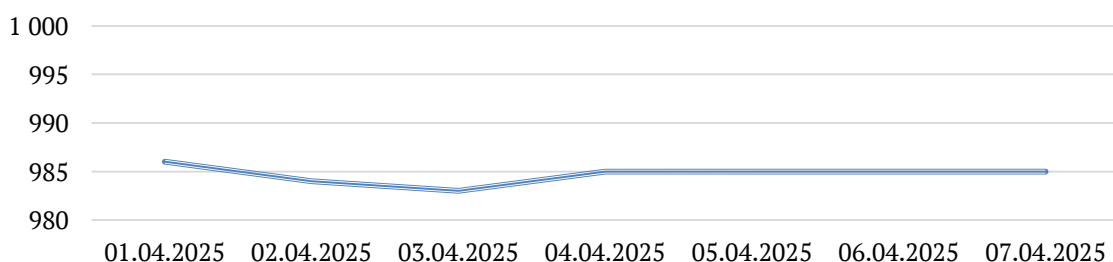


Рис. 3. Динамика средних суточных результатов измерений полученных в апреле

Из рис. 3. видно, что результаты контрольных измерений, полученных в апреле, также стабильны. Из эксперимента следует: результаты выборочных суточных контрольных измерений разности потенциалов находятся в интервале значений 961–1 007 мВ; выборочные суточные значения коэффициента вариации результатов измерений находятся в интервале значений от 1,040 до 1,137, т. е. результаты измерений относятся к одной и той же категории точности.

Выводы

1. Разработанный авторами метод автоматизированного контроля технического состояния цинковых протекторов может быть использован на судах камчатского флота.

2. Внедрение данного метода контроля не вызывает у экипажей судов организационных и технических затруднений.

Литература

1. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите. Введ. 1976-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 20 с.

2. РЗК-НК-01. Руководство по защите корпусов наводных кораблей ВМФ от коррозии и обрастания. – М.: Военное изд-во, 2001. – 258 с.

3. РД 31.28.10-97. Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии. – М.: ЦНИИМФ, 1997. – 169 с.

4. К вопросу совершенствования метода контрольных испытаний судовых ХСЭ / *Д.П. Ястребов, О.А. Белов, А.О. Рогожников, В.А. Швецов* // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 1-1(67). – С. 82–87.

5. Экспериментальное обоснование возможности внедрения автоматизированного метода неразрушающего технического контроля отдельных судовых протекторов / *Д.П. Ястребов, О.А. Белов, А.О. Рогожников, В.А. Швецов, Е.В. Шаповалова* // Морские интеллектуальные технологии. – 2025. – № 2-1(68). – С. 107–112.

УДК 621.311.21:004.92

И.Д. Карпов, Е.В. Шаповалова

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: meian@mail.ru*

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D-ПЕЧАТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОБИЛЬНОЙ МИКРОГЭС

В статье рассматриваются перспективы использования аддитивных технологий в производстве деталей и узлов для прототипирования и серийного производства малой гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии. 3D-печать все шире используется в таких отраслях промышленности, как авиа- и машиностроение, в том числе энергетика. Использование 3D-печати в разы ускоряет процесс производства сложных деталей; применение моделирования – инженеры могут улучшать форму лопастей для повышения эффективности; уменьшение веса конструкции – возможность создавать облегченные структуры, что способствует увеличению мобильности микроГЭС; ускоренное прототипирование и адаптация – 3D-печать ускоряет создание образцов и позволяет изменять конструкцию оперативно, без ожидания длительных циклов производства; локальное производство – применение 3D-принтеров позволяет изготавливать детали непосредственно на месте установки, снижая затраты на логистику и сроки изготовления; быстрая прототипизация – возможность быстро создавать и тестировать новые конструкции; сложные геометрии – создание деталей с внутренними каналами, сложными формами и уникальными конструкциями; индивидуализация – возможность адаптировать компоненты под определенные условия эксплуатации. В статье приведен опыт использования 3D-печати в гидроэнергетике и дальнейшие перспективы развития.

Ключевые слова: 3D-печать, ГЭС, гидроагрегат, система управления с микропроцессорными преобразователями и контроллером, отбор мощности, КПД генератора.

I.D. Karpov, E.V. Shapovalova

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: meian@mail.ru*

ANALYSIS AND PROSPECTS FOR USING 3D PRINTING IN MOBILE MICRO HYDRO POWER STATION DEVELOPMENT

The prospects for using additive technologies in the production of parts and components for prototyping and serial production of small hydropower and renewable energy sources are considered. 3D printing is increasingly used in industries such as aerospace and mechanical engineering, including the energy sector. The use of 3D printing significantly accelerates the production of complex parts. As a result, modeling engineers can improve the shape of blades to increase efficiency; weight reduction – the ability to create lightweight structures, allowing for increased mobility of micro hydroelectric power plants; accelerated prototyping and adaptation – 3D printing accelerates the creation of samples and allows for prompt lighting changes, without waiting for lengthy production cycles; local – the use of 3D printers allows for the manufacture of parts directly on-site, reducing costs for production logistics and timely manufacturing; rapid prototyping – the ability to quickly create and test new designs; complex geometry – the creation of parts with straight structures, complex shapes, and design developments; individualization – the ability to adapt components to operating conditions. The article presents the experience of using 3D printing in hydroelectric power and future development prospects.

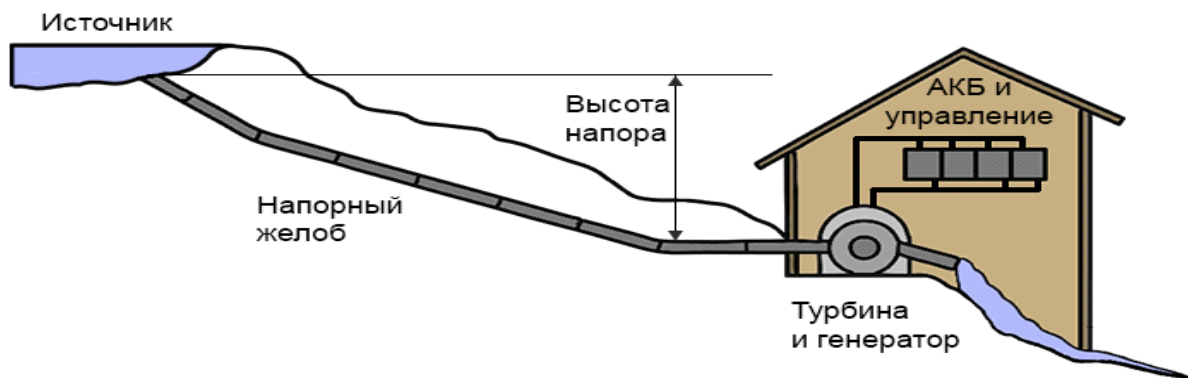
Key words: 3D printing, hydroelectric power station, hydraulic unit, control system with microprocessor converters and controller, power take-off, generator efficiency.

3D-печать открывает новые возможности в создании мобильных микроГЭС, обеспечивая их гибкость, низкую стоимость и ускоренное производство по сравнению с традиционными гидроэнергетическими решениями [1].

Основные принципы работы микроГЭС

Мобильная микроГЭС – это компактная установка, превращающая кинетическую энергию воды в электричество [2]. Основным компонентом гидроэлектростанции выступает турбина, вращающаяся под воздействием водного потока и генерирующая электричество через генератор.

Для разработки таких систем важны следующие критерии: мобильность и легкость конструкции; устойчивость к условиям эксплуатации; экономическая эффективность и доступность в производстве. МикроГЭС мощностью до 100 кВт – это автономный гидроэнергетический комплекс, включающий турбину с генератором, систему водоподдачи и автоматизированное управление. Основой управления служит микропроцессорный контроллер (PLC), который координирует работу всех узлов: регулирует скорость вращения и нагрузку, стабилизирует частоту и напряжение, управляет клапанами и заслонками, обеспечивает плавный запуск и остановку агрегата. В систему интегрируются датчики уровня, давления, вибрации, температуры и тока, данные с которых контроллер обрабатывает в реальном времени. Через интерфейс НМІ или удаленный модуль оператор может отслеживать параметры работы, получать аварийные сигналы и изменять режимы. Благодаря такой архитектуре микроГЭС работает автоматически и безопасно, обеспечивая стабильное энергоснабжение удаленных объектов без постоянного присутствия персонала. Пример микроГЭС показан на рис. 1.



Низконапорная микроГЭС

Рис. 1. Низконапорная микроГЭС

Принцип работы: поток воды давит на лопасти либо сверху (верхнебойный вариант), либо снизу (нижнебойный) и заставляет колесо вращаться. Это вращение передается на вал, а дальше – на электрогенератор. Чем быстрее и мощнее поток, тем выше выходная мощность. КПД зависит от формы и размера лопастей, от качества сборки, от точности сопряжения вала и генератора. Для усиления потока могут использоваться инженерные приемы: мини-плотина, сужение русла, перепад высот.

Преимущества и технологические возможности 3D-печати в проектировании микроГЭС. 3D-печать дает микроГЭС целый ряд инженерных преимуществ. Эта аддитивная технология позволяет создавать легкие и прочные детали сложной формы без литья и механической обработки, что особенно важно для турбин. Инженеры могут быстро моделировать и печатать оптимизированные лопасти с улучшенной гидродинамикой, сокращая вес конструкции и повышая эффективность. Печать ускоряет прототипирование, упрощает адаптацию к локальным условиям и снижает затраты на транспортировку, детали можно изготавливать прямо на месте. Однако широкое применение ограничено прочностью пластиков, высокой стоимостью промышленных принтеров и требованиями к точности и постобработке [3, 4].

Примеры использования 3D-печати в гидроэнергетике. 3D-печать в этой области – относительно новое явление, существуют успешные примеры ее применения. Некоторые компании разрабатывают и тестируют 3D-печатные турбины, что улучшает гидродинамику и снижает производственные затраты и расходы. Далее представлена сравнительная таблица применения технологий 3D-печати в микроГЭС.

Сравнительная таблица применения технологий 3D-печати в микроГЭС

Проект	Мощность	Элемент, выполненный 3D-печатью	Основные преимущества	Основные ограничения
Ricoh Micro-Hydro System	≈ 50 кВт	Лопастей и корпус турбины (биоматериал)	Снижение массы конструкции на 20%, сокращение сроков производства с 1 мес. до 3 дн., экологичные материалы	Недостаточно данных о долговечности и устойчивости к коррозии; пока тестовая стадия
Pelton Turbine Project	≈ 0,4 кВт	Колесо Pelton и чашки турбины (ABS-пластик)	Очень низкая стоимость, легкость и простота замены деталей, возможность экспериментировать с геометрией	Ограниченная механическая прочность, малый срок службы под нагрузкой, низкая мощность
Pipeline Micro-Turbine	до 1 кВт	Лопастей турбины и корпус (PLA)	Возможность установки прямо в трубопровод, точная подгонка под диаметр и скорость потока, быстрое прототипирование	Только лабораторные испытания; нет данных о работе в реальных условиях; эрозийная стойкость ограничена за счет применения PLA-пластика
Bakuhau Pico-Hydro	37 кВт	Направляющий аппарат и лопасти турбины	Удешевление производства, локальная сборка, цифровое воспроизведение по модели, снабжение удаленного поселка	Требует сочетания с металлическими компонентами, чувствительность к гидроударам и загрязнению потока

Ricoh Micro-Hydro System (Япония, 2023). В 2023 г. корпорация Ricoh Company, Ltd. представила экспериментальную микро-гидроустановку, ключевые элементы которой лопасти и корпус турбины были изготовлены методом 3D-печати. В проекте использовались экологичные биоматериалы, позволившие уменьшить вес конструкции почти на 20% по сравнению с металлическими аналогами. Пока установка работает в тестовом режиме, однако первые результаты подтверждают устойчивую генерацию электроэнергии при минимальных издержках и высоком КПД для столь малой мощности. Для Японии страны с большим числом горных рек и сельских поселений подобные решения открывают путь к созданию модульных микро-ГЭС, которые можно напечатать и собрать прямо на месте.

Pelton Turbine Project (Филиппины, 2022). Инженерная группа из Филиппинского политехнического университета разработала и испытала пикогидроустановку мощностью около 400 Вт, где турбина типа Pelton была полностью напечатана на 3D-принтере. Проект ставил целью заменить дизельный насос в системе орошения рисовых полей и обеспечить фермеров автономным источником энергии. Турбина, изготовленная из ABS-пластика, продемонстрировала неплохие характеристики при напоре 10 м и расходе воды около 6 л/с. Исследователи отметили, что за счет низкой массы лопастей удалось снизить вибрации и повысить стабильность вращения. При этом стоимость всего агрегата оказалась в 6-7 раз ниже промышленного аналога.

Pipeline Micro-Turbine (Иран, 2021). Исследователи из Университета Фердоуси в Мешхеде создали 3D-напечатанную турбину, предназначенную для генерации электроэнергии из потока воды в городских и промышленных трубопроводах. Проект получил название A Novel 3D-Printed Turbine to Harvest Energy from Pipelines. В ходе экспериментов инженеры изготовили несколько прототипов с различными геометрическими профилями лопастей и протестировали их в лабораторной гидравлической петле. Результаты показали, что 3D-печать позволяет точно подбирать форму турбины под конкретный диаметр трубы и скорость потока, тем самым повышая эффективность преобразования энергии до 60%. Главным преимуществом технологии стала возможность быстрой замены изношенных деталей без участия заводского производства.

3D-Printed Pico-Hydro Prototype (Индонезия, 2020). На острове Сумба в Индонезии группа инженеров при поддержке международной организации Nivos реализовала проект Bakuhau Micro-Hydro, где часть компонентов (направляющий аппарат и лопасти турбины) была изготовлена методом 3D-печати. Установка мощностью 37 кВт обеспечивает электроэнергией около ста домов в труднодоступной горной местности. 3D-печать позволила создать детали сложной аэрогидродинамической формы с минимальными затратами и доставить их на место в разобранном виде. Этот пример показал, что аддитивное производство может стать инструментом децентрализованного развития энергетики: в регионах, где отсутствуют промышленные мощности, цифровая модель и небольшой 3D-принтер позволяют воспроизвести жизнеспособную энергоустановку буквально «в полевых условиях».

Применение 3D-печати в разработке мобильных микроГЭС открывает инженерам новые горизонты для оптимизации конструкций, снижения затрат и ускорения проектирования. В перспективе возможно применение 3D-принтеров на металле. Таким образом, появится возможность делать более прочные детали для использования в других установках, не прибегая при этом к услугам токарей. К примеру, осуществляются проекты по созданию микротурбин для довольно удаленных местностей, где сложно доставить стандартные энергетические системы [5]. Эти установки на основе 3D-печати (рис. 2) легко транспортировать и монтировать, что делает их идеальными для труднодоступных зон.



Рис. 2. Пример микроГЭС

Перспективы развития. 3D-печать в гидроэнергетике имеет большие перспективы, особенно в создании мобильных решений для изолированных сообществ [6]. С развитием материалов и различных техник печати ожидаются существенные усовершенствования характеристик микроГЭС. Важную роль может сыграть металлопечать, которая позволит создавать более прочные и долговечные компоненты. В будущем 3D-печать может стать ключевой частью проектирования и строительства как микро-, так и крупномасштабных гидроэлектростанций, способствуя более быстрой реализации новых решений.

Литература

1. Голубцов Н.В. Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров // Экономическое возрождение России. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.
2. Федоров О.В., Дарьенков А.Б. Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с. – ISBN 978-5-406-04282-3.
3. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / А.В. Синюков, Т.В. Синюкова, Е.И. Грачева и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87–98.
4. Федоров О.В., Кузнецов Н.М. Альтернативные источники энергии для удаленных потребителей // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6(123). – С. 141–144.
5. Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V. The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.
6. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Эффективное управление пуска наладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3–4. – С. 11–22.

УДК 621.791

К.А. Кирпиченко

*Камчатский государственный технический университет
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: Kiriss1903@gmail.com*

РАЗРАБОТКА СВАРОЧНОГО ОПТИМИЗИРОВАННОГО ПОЗИЦИОНЕРА МАЛОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

В статье анализируется проблема сварки круговых швов и предлагается решение в виде разработки оптимизированного, конкурентоспособного сварочного вращателя. Для повышения качества и удобства работы вместо ручной сварки предлагается использовать позиционер, который фиксирует и вращает деталь. Дополнительным нововведением является многофункциональная педаль, призванная повысить эргономичность станка и еще больше упростить сварку. Также в статье рассматриваются будущие улучшения вращателя.

Ключевые слова: сварочный позиционер, сварка, аппарат для сварки, круговой шов, удобство для сварки, оптимизация работ, металлообработка, сварочное оборудование, все виды сварки, автоматизация сварки.

К.А. Kirpichenko

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: Kiriss1903@gmail.com*

DEVELOPMENT OF WELDING OPTIMIZED LOW-LOAD POSITIONER

The problem of circular seam welding is analyzed and the solution in the form of an optimized, competitive welding rotator is suggested. To improve the quality and convenience of welding, it is suggested to use a positioner that fixes and rotates the part instead of manual welding. An additional innovation is a multifunctional pedal that enhances the ergonomics of the machine for the operator and further simplifies welding. The future improvements to the rotator is also discussed.

Key words: welding positioner, welding, welding machine, circular seam, convenience for welding, optimization of work, metalworking, welding equipment, all types of welding, welding automation.

Высокая концентрация судов различного назначения в регионе Камчатки предъявляет повышенные требования к судоремонтным предприятиям. Так как сварные работы играют ключевую роль в ремонте, особую актуальность приобретает оснащение производств специализированным оборудованием [1, 2]. Одним из таких устройств является сварочный вращатель, который за счет вращения планшайбы, соединенной с электрическим приводом, и надежного крепления детали (рис. 1) значительно упрощает и ускоряет сварку цилиндрических объектов. Благодаря данному устройству повышается общая производительность, качество и безопасность выполняемой работы [3]. Улучшение этих ключевых параметров положительно скажется на любом производстве [4].

Основной проблемой является недостаток на рынке недорогих малогабаритных сварочных позиционеров с широким функционалом, решением которой и является наша разработка.

Изучение аналогов. Были проанализированы две коммерческие модели позиционеров [5, 6]:

Handa CNC-100. Грузоподъемность: до 80 кг; управление: шаговый двигатель и программируемый контроллер; функции: поворот планшайбы на 0–360° с точностью до 1°; регулировка скорости и времени задержки; стоимость: 180 000 руб.

АТТА HD-50. Грузоподъемность: 50 кг (вертикально) / 30 кг (горизонтально); диаметр планшайбы: 315 мм; управление: ручное, с маховиком для вращения и регулировкой скорости; стоимость: 90 000 руб.



Рис. 1. Крепление детали в сварочном позиционере

Разработка. На основе проведенного анализа было принято решение о создании собственного сварочного позиционера на основе материальной базы КамчатГТУ, который должен стать более бюджетной и функциональной заменой существующим моделям.

Потенциальными потребителями проекта являются судоремонтные и металлообрабатывающие предприятия, частные мастера и учебные заведения технического профиля.

Конкретными потенциальными заказчиками на Камчатке названы: Северо-Восточный ремонтный центр, Вилючинская верфь, Варяг Техсервис, Камчатский морской энергетический техникум и КамчатГТУ, а также множество компаний-судовладельцев.

В Камчатском государственном техническом университете был спроектирован (рис. 2) и создан (рис. 3) действующий прототип устройства сварочного вращателя.



Рис. 2. Проект сварочного вращателя



Рис. 3. Созданный рабочий прототип

Характеристики и устройство позиционера

Разработанная модель обладает следующими параметрами:

Грузоподъемность: до 50 кг.

Диаметр планшайбы: 350 мм.

Угол поворота стола: 90° (для удобной сварки длинных изделий с роликовой опорой).
 Угол вращения для сварки: 0–360°.
 Точность позиционирования: до 1°.

Система управления построена на базе платы Arduino, что обеспечивает простоту программирования и настройки. Оператор может задавать требуемую скорость и угол вращения через простой интерфейс. Структурная схема блока управления представлена на рис. 4.

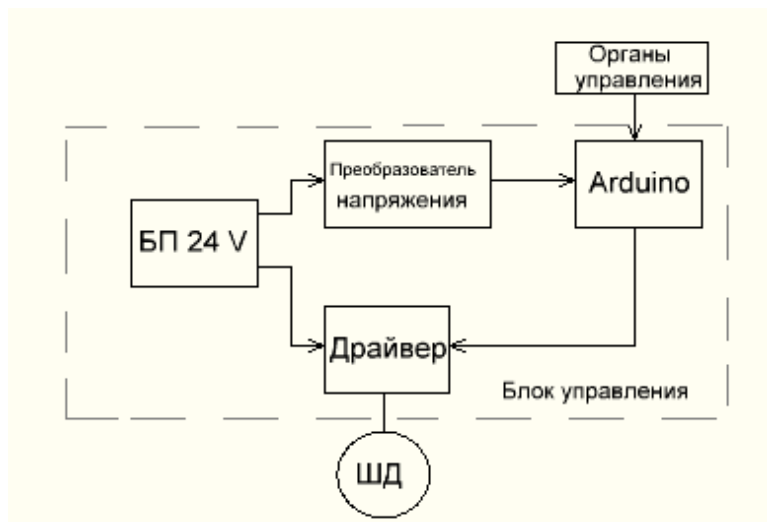


Рис. 4. Структурная схема блока управления

Arduino выступает центральным контроллером: она обрабатывает команды оператора и передает управляющие сигналы на драйвер шагового двигателя, который непосредственно питает его обмотки.

Главная особенность. В целях оптимизации сварочных работ разработана многофункциональная педаль, совмещающая в себе функции регулировки скорости вращения диска. Данная конструктивная особенность позволяет оператору выполнять все необходимые манипуляции, не используя руки для перенастройки оборудования, что существенно повышает удобство и непрерывность технологического процесса. Отсутствие серийных аналогов подобного устройства на рынке подтверждает инновационный характер разработки и определяет ее актуальность. Электрическая схема педали приведена на рис. 5, а общий вид всего комплекса (вращатель с педалью) показан на рис. 6.

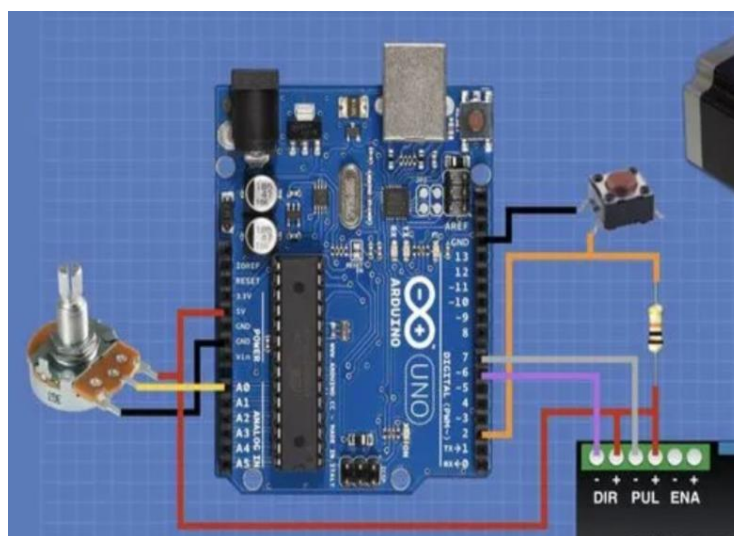


Рис. 5. Схема подключения

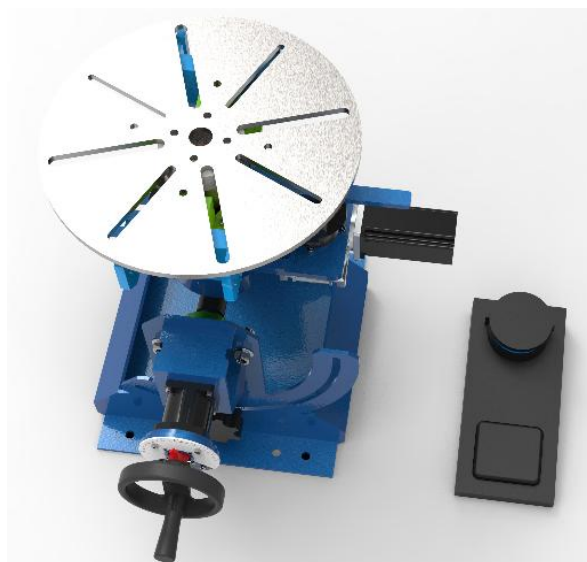


Рис. 6. Общий вид

Экономическая часть. Общая смета на создание прототипа составила 65 105 рублей (таблица). Указанная стоимость является расчетной для единичного изделия с учетом региональных особенностей ценообразования.

Перечень расходов по проекту

Название расходов	Цена
Планетарный редуктор	2 400
Шаговый двигатель	7 000
Шкив алюминиевый и ремень зубчатый	3 450
Подшипники	3 835
Педаль	1 720
Сборка блока упр.	4 790
Штурвал с ручкой и опора ШВП	1 389
Блок питания	1 545
Драйвер шагового двигателя	1 582
Обработка деталей и заготовки	8 834
Угломер	1 120
Лазерная резка вместе с металлом	14 140
Токарно-фрезерные работы	6 200
Сборка блока питания	7 100
<i>Итого</i>	65 105

Перспективы. Автор предлагает разработки, связанные с повышением ее универсальности и способности работать в разных условиях.

Примеры развития проекта. Присвоение классов защиты от пыли и влаги (IP), необходимых для судов и цехов со сложными условиями эксплуатации. Изменение конструкции для установки деталей разных масс и размеров. Добавление модульной компоновки. Планшайба разного диаметра, добавление шаговых двигателей разной мощности, для эффективного использования вращателя.

Реализация множества этих улучшений позволит создать универсальную и многофункциональную систему, способную работать в разных условиях и с деталями разных массогабаритных характеристик.

Разработка собственного сварочного оборудования является востребованной задачей. Данный проект демонстрирует, что использование ресурсов вуза позволяет создавать экономичные и эффективные решения, способные конкурировать с дорогостоящими рыночными аналогами.

Литература

1. Куликов В.П. Технология сварки плавлением и термической резки. – Минск: Экоперспектива, 2003. – 416 с.
2. Чернышов Г.Г. Сварочное дело: Сварка и резка металлов: Учебник для нач. проф. образования. – 7-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 496 с.
3. Лупачев В.Г. Ручная дуговая сварка: Учебник. – Минск: Высшая школа, 2014. – 416 с.
4. О результатах внедрения научных исследований на рыбопромысловых судах Камчатского края / Д.П. Ястребов, К.И. Ершова, А.С. Летунов, Д.Е. Дуров // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Четвертой междунар. науч. техн. конф. (25–26 ноября 2021 г.) // Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2022. – С. 32–35.
5. Магазин nauticexpo [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/electric-engine-35892.html> (дата обращения: 28.10.2025).
6. Магазин СнабКомплект [Электронный ресурс]. – URL: <http://snabkomplekt41.ru/contacts> (дата обращения: 28.10.2025).

УДК 681.586.728

Д.В. Кутилин, Е.В. Шаповалова

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: meian@mail.ru*

РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ЧАСТОТЫ ОБОРОТОВ ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO

Разработка датчика частоты оборотов (тахометра) на базе Arduino – это практическая задача, которая позволяет точно контролировать скорость вращения электродвигателей. Для этого можно использовать несколько подходов, различающихся по точности и сложности реализации. В статье описаны варианты конструкций тахометра. Нами сравниваются основные подходы к созданию тахометра на Arduino. Для универсальных электрических машин, где важна надежность, рекомендуется конструкция на основе оптопары с перфорированным диском. Датчик заключен в корпус, что защищает его от внешней засветки и загрязнений по сравнению с открытым ИР-модулем. Большее количество прорезей на диске позволяет повысить точность измерения. Такая конструкция лучше подходит для продолжительной работы в условиях вибрации. В данной статье нами рассмотрены принципы измерения RPM, варианты датчиков, схемы подключения и алгоритмы обработки сигналов.

Ключевые слова: датчик частоты оборотов, универсальные электрические машины, микроконтроллер Arduino, датчик Холла, инфракрасный датчик, оптический датчик.

D.V. Kutilin, E.V. Shapovalova

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: meian@mail.ru*

DEVELOPMENT OF A SPEED SENSOR FOR UNIVERSAL ELECTRIC MACHINES BASED ON MICROCONTROLLER ARDUINO

The development of an Arduino-based speed sensor (tachometer) is a practical task that allows to control the rotation speed of electric motors. To do this several approaches that vary in accuracy and complexity of implementation may be used. The variants of tachometer designs are described. The main approaches to create a tachometer on Arduino are compared. For universal electrical machines where reliability is important, an optocoupler-based design with a perforated disc is recommended. The sensor is enclosed in a housing, which protects it from external glare and contamination compared to an open IR module. A larger number of slots on the disk allows to increase the accuracy of the measurement. This design is better suited for long-term operation in vibration conditions. The principles of RPM measurement, sensor options, connection schemes and signal processing algorithms are considered.

Key words: speed sensor, universal electric machines, microcontroller Arduino, Hall sensor, infrared sensor, optical sensor.

Разработка датчика частоты оборотов (тахометра) на базе Arduino остается актуальной задачей благодаря доступности компонентов, простоте реализации и широкому спектру практических применений.

Arduino как платформа идеально подходит для таких проектов по нескольким ключевым причинам. Основные компоненты (плата Arduino, ИК-датчик или датчик Холла, резисторы) достаточно дешевы. Платформа Ардуино разработана для легкого старта, что позволяет сосредоточиться на сути проекта, а не на сложностях программирования микроконтроллеров. Существует несколько проверенных подходов к созданию тахометра, что позволяет выбрать решение под конкретные задачи и условия [1, 2].

На сегодняшний день наиболее популярны и хорошо изучены два метода, показанные в табл. 1.

Таблица 1

Метод измерения

Метод измерения	Принцип работы	Ключевые особенности
Оптический (ИК-датчик)	Регистрация прерывания ИК-луча вращающимся объектом (лопастью, диском с прорезью).	Простая конструкция; невосприимчив к магнитным полям; может требоваться защита от посторонней засветки и пыли
Магнитный (датчик Холла)	Фиксация изменения магнитного поля при прохождении магнита, закрепленного на валу	Надежен в запыленной среде; может быть чувствителен к электромагнитным помехам, требующим экранировки и фильтрации

Актуальность проекта подтверждается его практической ценностью и постоянным развитием:

- *образовательный и хобби-проект*. Такой проект позволяет на практике изучить основы схемотехники, программирования и работы с прерываниями в микроконтроллерах [3];
- *решение конкретных практических задач*. Тахометры используются для диагностики двигателей, контроля скорости роботов, одометрии (подсчета пройденного пути) и других задач;
- *совершенствование решений*. Разработка не стоит на месте, что видно по созданию специализированных библиотек для Arduino, которые упрощают код и повышают стабильность измерений.

Создание тахометра на Arduino идеально подходит для обучения и решения широкого круга прикладных задач. Разработка датчика частоты оборотов (тахометра) на базе Arduino – это практическая задача, которая позволяет точно контролировать скорость вращения электродвигателей. Для этого можно использовать несколько подходов, различающихся по точности и сложности реализации [4].

Нами рассмотрены варианты конструкций тахометра. В табл. 2 сравниваются три основных подхода к созданию тахометра на Arduino.

Таблица 2

Варианты конструкций тахометра

Основной компонент	Принцип работы	Ключевые особенности	Пример применения
Инфракрасный датчик	Луч ИК-света отражается от метки на валу; датчик фиксирует импульс	Простота и низкая стоимость. Требует нанесения метки (отражающей/не отражающей) на вал	Измерение скорости вентилятора или двигателя с импровизированным диском
Оптопара	Вал вращает перфорированным диском между ИК-излучателем и приемником, создавая импульсы	Более надежен, так как защищен от внешней засветки. Требует изготовления диска с прорезями	Станки с ЧПУ, принтеры (где датчик уже встроен)
Датчик Холла	Реагирует на изменение магнитного поля при прохождении магнита, закрепленного на валу	Устойчив к пыли и грязи. Требует установки магнита на вращающуюся часть	Измерение скорости колеса автомобиля или велосипеда

Независимо от выбранного датчика, принцип измерения RPM (оборотов в минуту) един:

$$RPM = (\text{Количество импульсов за время измерения} / \text{Количество меток за один оборот}) \times (60 / \text{Время измерения в секундах}).$$

Например, если на валу 1 метка, и за 3 секунды зафиксировано 100 импульсов, то $RPM = (100 / 1) \times (60 / 3) = 2\,000$ об/мин. Если на диске оптопары 12 прорезей, то RPM будет вычисляться по формуле: $(\text{Количество импульсов за время измерения} / 12) \times (60 / \text{Время измерения в секундах}).$

Независимо от выбранного типа датчика, общий принцип работы устройства будет одинаковым: Arduino должен подсчитать количество импульсов за определенный промежуток времени или измерить длительность одного импульса.

Микроконтроллер фиксирует количество импульсов (N) от датчика за строго заданный интервал времени (t). Частота (F) вычисляется по формуле: $F = N / t$ (Гц). Этот метод хорошо подходит для средних и высоких скоростей.

Arduino с помощью функции pulseIn() измеряет время между двумя фронтами сигнала (например, между двумя последовательными импульсами). Затем период (T) преобразуется в частоту: $F = 1 / T$ (Гц). Этот метод может быть более точным на низких скоростях.

Один из самых простых и надежных способов – использовать датчик Холла и неодимовый магнит.

Шаг 1: Необходимые компоненты

- Плата Arduino (Uno, Nano и т. д.).
- Датчик Холла (например, А3144).
- Неодимовый магнит (желательно небольшого размера).
- Макетная плата и соединительные провода.
- Компьютер для программирования и мониторинга данных.
- LCD-дисплей 16×2 для отображения результатов без подключения к ПК (опционально).

Шаг 2: Сборка схемы

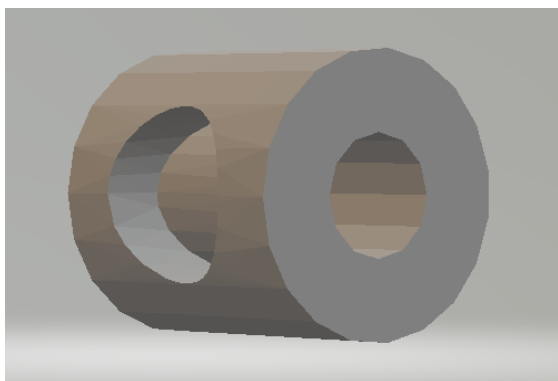
Подключить датчик Холла по следующей схеме:

VCC датчика -> к 5V на Arduino.

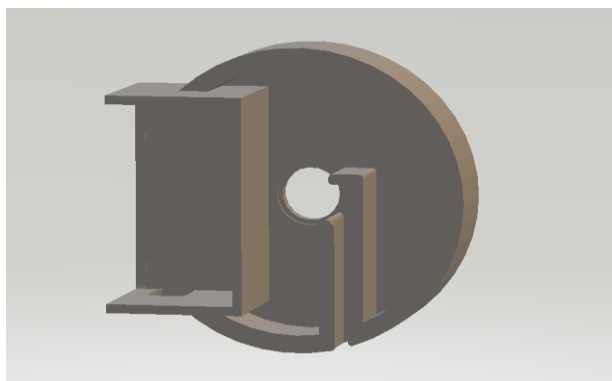
GND датчика -> к GND на Arduino.

OUT (сигнальный вывод) датчика -> к любому цифровому пину (например, D2).

Закрепить магнит на вращающейся части вала двигателя. Датчик Холла установить неподвижно так, чтобы магнит при каждом обороте проходил в непосредственной близости от него (рисунок).



а



б



в

Собранная конструкция датчика частоты оборотов на учебном электродвигателе:

а – трехмерная модель крепления магнита к валу учебного электродвигателя;

б – трехмерная модель корпуса датчика частоты оборотов;

в – общее фото конструкции датчика частоты оборотов на учебном электродвигателе

Шаг 3: Пример кода

Основная задача программы – подсчитывать количество импульсов за фиксированное время (например, за 1 секунду) и пересчитывать это в обороты в минуту (RPM), зная, что один импульс равен одному обороту.

Для получения стабильных показаний можно увеличить интервал измерения (например, до 2–5 секунд) или использовать методы усреднения нескольких измерений.

Если сигнал от датчика «дребезжит», добавить в схему простой RC-фильтр (резистор и конденсатор) или использовать программную фильтрацию.

Для универсальных электрических машин, где важна надежность, рекомендуется конструкция на основе оптопары с перфорированным диском:

- повышенная помехоустойчивость: датчик заключен в корпус, что защищает его от внешней засветки и загрязнений по сравнению с открытым IR-модулем;
- высокая точность: большее количество прорезей на диске позволяет повысить точность измерения;
- прочность: такая конструкция лучше подходит для продолжительной работы в условиях вибрации.

Arduino часто используется в мелкосерийных проектах (десятки или сотни устройств). При разработке прототипа создается устройство на базе платы Arduino Uno/Nano/Mega с использованием макетных плат и проводов. После успешного тестирования прототипа переходят к созданию более надежной версии. Часто используют платы типа Arduino Nano, которые уже меньше и дешевле, и паяют их на печатную плату (PCB), разработанную специально для проекта. Для серии разрабатывается собственная печатная плата, на которую паяется только самый необходимый минимум компонентов: микроконтроллер (тот же ATmega328p, что и в Uno), кварцевый резонатор, стабилизатор напряжения и необходимые разъемы. Это значительно снижает стоимость и размер конечного устройства [5, 6].

Arduino – это инструмент, который благодаря своей простоте и гибкости открыл мир электроники и программирования миллионам людей и продолжает оставаться незаменимым помощником для инженеров, дизайнеров и любителей по всему миру [7].

Arduino – это мощный инструмент для быстрого создания прототипов и мелкосерийных решений. Если нужно измерить обороты нестандартного двигателя или механизма, работающий тахометр на Arduino можно собрать за несколько часов, а не недель. Готовые промышленные тахометры часто имеют фиксированные функции. На Arduino можно легко запрограммировать дополнительные возможности:

- сигнализация: звуковой или световой сигнал при достижении критических оборотов (красная зона);
- реле и автоматика: автоматическое отключение двигателя при превышении порога оборотов для защиты от поломки;
- логирование данных: запись истории изменения оборотов на SD-карту для последующего анализа;
- связь с другими устройствами: передача данных по Bluetooth, Wi-Fi или радиоканалу на телефон или компьютер для дистанционного мониторинга.

Собрать такой тахометр может быть дешевле и интереснее, чем покупать готовый [8].

- автомобильный тахометр: для старых автомобилей, где он не предусмотрен, или для замены вышедшего из строя.
- мототехника и скутеры: установка компактного самодельного тахометра;
- станки и инструменты: контроль оборотов дрели, шлифовального станка, токарного станка по дереву/металлу;
- аэрография и пневмоинструмент: контроль давления и оборотов компрессора;
- вентиляция: мониторинг скорости вращения вентиляторов систем охлаждения или вентиляции.

Компоненты для простого тахометра (Arduino Nano, датчик Холла, резисторы, дисплей) обходятся очень дешево, особенно по сравнению с готовыми промышленными образцами. Возможность починить вышедший из строя узел в оборудовании, запасные части на которое дороги или недоступны [9].

Нами рассмотрены конкретные примеры практической реализации.

Тахометр для автомобиля с датчиком Холла. Датчик крепится рядом со шкивом коленвала, на шкиве – магнит. Каждый проход магнита – импульс. Arduino считает импульсы в секунду и пересчитывает в обороты в минуту (RPM). Вывод на OLED-дисплей [10].

Лазерный/Оптический тахометр (стробоскоп). ИК-датчик и светодиод. Полоска светоотражающей ленты на валу. При каждом обороте луч отражается и регистрируется датчиком. Идеально для бесконтактного измерения.

Тахометр для компьютерного кулера. Стандартные 3-пиновые вентиляторы имеют тахометрический выход (тахосигнал). Arduino легко считывает этот сигнал, позволяя создавать системы мониторинга температуры и скорости вращения [11, 12].

Таким образом, практическая значимость разработки тахометра на Arduino заключается в его универсальности, доступности и огромном обучающем потенциале. Это полноценный инструмент, который позволяет научиться основам embedded-систем, быстро создать прототип или уникальное решение для конкретной задачи, сэкономить деньги на покупке готового устройства, получить полный контроль над функционалом своего измерительного прибора. Такой проект является отличной отправной точкой для более сложных систем автоматизации и мониторинга [13, 14].

Литература

1. *Гладышев М.Д., Рыбаков А.В.* Интеграция сенсорных данных и математическое моделирование поведения подводного робота с использованием цифрового двойника // *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)*. – 2025. – № 2. – С. 142–151.
2. *Журакулов Т.Т., Нарзуллаева З.Х., Хамроев А.И.* Принцип работы Ардуино и его использование как инструмент для изучения и исследования // *Universum: технические науки*. – 2023. – № 12-1(117). – С. 36–39.
3. *Голубцов Н.В.* Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров / Н.В. Голубцов // *Экономическое возрождение России*. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.
4. *Зильгараева А.К.* Доплеровские методы измерения скорости объектов // *Science Time*. – 2016. – № 6(30). – С. 100–118.
5. *Ляшенко А.П., Кукуев М.Д.* Разработка регистратора сопротивления изоляции на основе микроконтроллера Ардуино // *Вестник молодежной науки*. – 2021. – № 4(31). – С. 1–7.
6. *Федоров О.В., Дарьенков А.Б.* Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с.
7. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino / *Е.Я. Омельченко, В.О. Танич, А.С. Маклаков, Е.А. Карякина* // *ЭС и К*. – 2013. – № 21. – С. 28–33.
8. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / *А.В. Синюков, Т.В. Синюкова, Е.И. Грачева и др.* // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87–98.
9. *Жораев Т.Ю., Павлюк Е.А.* Применение микроконтроллера Arduino в современной промышленности // *Молодой ученый*. – 2023. – № 49(496). – С. 88–90.
10. *Емельянов Г.В.* Программирование микроконтроллеров Arduino // *Молодой ученый*. – 2021. – № 4(346). – С. 6–8.
11. *Федоров О.В., Кузнецов Н.М.* Альтернативные источники энергии для удаленных потребителей // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2015. – № 6(123). – С. 141–144.
12. *Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V.* The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // *2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok*. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – Art. № 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.
13. *Голубцов Н.В., Федоров О.В.* Эффективное управление пуска наладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11–22.
14. *Петин В.А., Биняковский А.А.* Практическая энциклопедия Arduino. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 152 с.

УДК 621.313.322

А.О. Ласков, В.С. Волков

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: Iamthegolem413@gmail.com*

БЕСЩЕТОЧНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР: НАДЕЖНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА ПРОМЫСЛОВЫХ СУДАХ

Материал посвящен исследованию устройства и принципа действия бесщеточного синхронного генератора (БСГ). Произведен анализ ключевых этапов преобразования энергии в данной машине, начиная от формирования тока возбуждения и заканчивая генерацией трехфазного напряжения. Дано подробное описание потенциальных преимуществ и недостатков по сравнению с традиционными щеточными генераторами. Особое внимание уделено применению БСГ в специфических условиях рыбодобывающего флота. Разработана структурная схема бесщеточного синхронного генератора.

Ключевые слова: бесщеточный синхронный генератор, судовая электроэнергетика.

A.O. Laskov, V.S. Volkov

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: Iamthegolem413@gmail.com*

BRUSHLESS SYNCHRONOUS GENERATOR: RELIABLE POWER SUPPLY FOR FISHING VESSELS

The material is devoted to the study of the design and operating principle of a brushless synchronous generator. An analysis of the key stages of energy conversion in this machine, starting from the formation of excitation current and ending with the generation of three-phase voltage was made. A detailed description of the potential advantages and disadvantages compared to traditional brushed generators is given. Particular attention is given to the application of the brushless synchronous generator (BSG) in the specific conditions of the mining fleet. A structural diagram of a brushless synchronous generator has been developed.

Key words: brushless synchronous generator, marine electrical power.

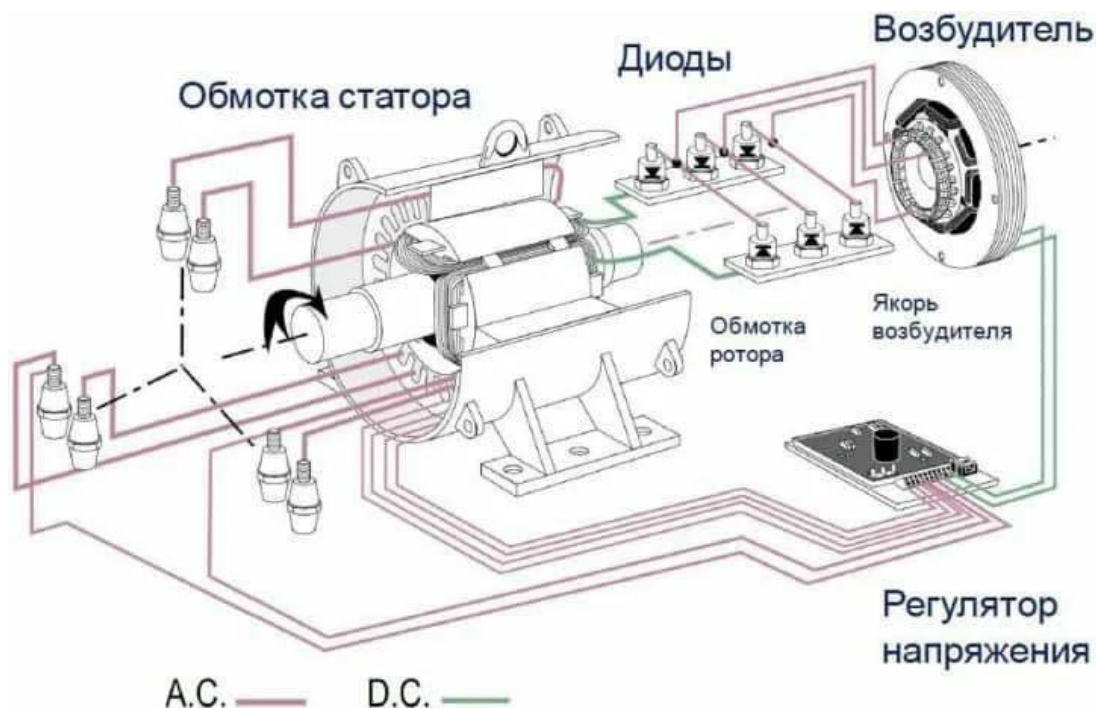
Электроэнергия – это кровь современного судна. Без стабильного и надежного источника питания невозможно функционирование ни навигационного оборудования, ни систем связи, ни, что особенно важно для рыбодобывающей отрасли, технологического оборудования для переработки улова. Сердцем судовой электроэнергетической системы является генератор. На смену традиционным генераторам постоянного тока и щеточным синхронным машинам пришли более совершенные и надежные конструкции – бесщеточные синхронные генераторы (БСГ). Именно эти машины стали стандартом для современного флота, включая рыбопромысловые судна, где особенно высокие требования к качеству электроэнергии и ее бесперебойной подаче. Широкое распространение БСГ обусловлено их преимуществами: отсутствие в них щеточных аппаратов заметно повышает надежность и снижает эксплуатационные расходы. Понимание устройства, принципа работы и особенностей эксплуатации этого типа генераторов является ключевой компетенцией для судового электромеханика.

Устройство и принцип действия [1, 2]. Чтобы понять преимущества бесщеточного генератора, полезно вспомнить его предшественника – генератор со щеточным узлом. В таких машинах для питания вращающейся обмотки возбуждения использовался щеточный аппарат: графитовые щетки скользили по контактным кольцам, передавая постоянный ток. Этот узел был источником постоянных проблем: щетки искрились, изнашивались, подгорали, требовали регу-

лярного обслуживания и создавали риск взрыва в помещениях, где возможно скопление горючих газов. Бесщеточный синхронный генератор лишен этого недостатка.

Его конструкция включает в себя две основные электрические машины, расположенные на одном валу. Возбудитель: это, по сути, обращенный генератор переменного тока. Его статор (неподвижная часть) является обмоткой возбуждения. При подаче на нее постоянного тока от автоматического регулятора напряжения (АРН) создается магнитное поле. Ротор возбудителя (вращающаяся часть) представляет собой трехфазную обмотку, в которой находится переменная ЭДС. Вращающийся выпрямитель: с обмотки ротора возбудителя переменный ток поступает на трехфазный выпрямительный блок, также закрепленный на валу генератора. Этот блок, собранный на диодах, преобразует переменный ток в постоянный. Главный генератор: выпрямленный постоянный ток подается непосредственно на обмотку возбуждения его ротора. Эта обмотка, вращаясь, создает основное магнитное поле, которое, пересекая обмотки статора главного генератора, наводит в них трехфазную ЭДС – ту самую, что поступает к потребителям.

Для наглядного представления о взаимосвязи основных узлов бесщеточного синхронного генератора рассмотрим его упрощенную структурную схему (рисунок).



Структурная схема бесщеточного синхронного генератора:

A.C. – обмотка статора главного генератора (выход трехфазного переменного тока к потребителям);

D.C. – обмотка возбуждения главного генератора (расположена на роторе);

якорь возбудителя – трехфазная обмотка, расположенная на роторе

(источник переменного тока для системы возбуждения);

регулятор напряжения (АРН) – блок управления, подающий постоянный ток на обмотку статора возбудителя;

диоды – вращающийся выпрямительный мост, преобразующий переменный ток от якоря возбудителя в постоянный для питания обмотки D.C.

Принцип работы согласно схеме: Регулятор напряжения, получая информацию о выходном напряжении на обмотке статора (A.C.), подает регулируемый постоянный ток на обмотку статора возбудителя (на схеме условно не показан, но логически связан с регулятором). Это создает магнитное поле, в котором вращается якорь возбудителя, где и наводится трехфазная ЭДС. Переменный ток с якоря поступает на вращающийся выпрямительный блок (Диоды), преобразуется в постоянный и подается на обмотку возбуждения (D.C.) главного генератора. Создаваемое ею магнитное поле, вращаясь вместе с ротором, наводит трехфазное напряжение в обмотке статора (A.C.), которое и поступает в судовую сеть [3, 4].

Таким образом, цепь возбуждения главного генератора полностью вращается вместе с валом. Отпадает необходимость в щетках и контактных кольцах для передачи тока на ротор. Передача энергии происходит бесконтактным способом, по принципу электромагнитной индукции.

Ключевые преимущества и их значение для судовой эксплуатации

Переход на бесщеточную схему дал ряд критически важных для флота преимуществ, таких как повышение надежности и пожаробезопасность, а также отсутствие искрящего щеточного аппарата кардинально снижает риск пожара. Это особенно важно в машинных отделениях, где возможны возгорания паров топлива и масел, а также на рыбопромысловых судах, где в воздухе может содержаться пыль от рыбной муки.

Снижение эксплуатационных расходов: исключаются регулярные затраты на замену изнашивающихся щеток, чистку и шлифовку коллекторных колец. Генератор требует минимального обслуживания, что снижает трудоемкость, время и стоимость ремонтов.

Высокая перегрузочная способность: БСГ хорошо справляются с бросками тока, например, при пуске мощных судовых электродвигателей (насосов, компрессоров, брашпилей).

Улучшенные массогабаритные показатели: конструкция позволяет создавать более компактные и мощные генераторы по сравнению со щеточными аналогами [5].

Анализируя конструктивные особенности и многолетний опыт эксплуатации, можно сделать вывод о том, что бесщеточный синхронный генератор является оптимальным решением для электроснабжения современных судов, в том числе рыбопромысловых. Его применение позволяет обеспечить высочайшую надежность энергосистемы, сохраняя при этом качество электроэнергии для питания технологического и навигационного оборудования. Дальнейшее развитие БСГ неразрывно связано с интеграцией в системы интеллектуального мониторинга и диагностики состояния судовой электростанции.

Литература

1. Волошин О.В., Грищенко В.Я. Судовые электрические станции и автоматика. – М.: Транспорт, 1990. – 320 с.
2. Электрооборудование. – Российский морской регистр судоходства, 2023.
3. Алексеев В.С., Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 2015. – 528 с.
4. Техническая документация и руководства по эксплуатации на бесщеточные синхронные генераторы марок «Stamford» (Cummins Generator Technologies) и «Leroy-Somer» (Nidec).
5. ГОСТ 183-74. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия.

УДК 625.712.65

А.Н. Рак

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ ПЛОЩАДОК НА МОРСКИХ СУДАХ И БУРОВЫХ ПЛАТФОРМАХ

Исследование посвящено вопросам, связанным со светотехническим обеспечением посадочных площадок для вертолетов на морских судах и буровых платформах. Рассмотрены национальные и международные требования к проектированию систем светотехнического обеспечения и их особенности. Приведены конкретные примеры по установке светотехнического оборудования. Отмечается, что не всегда возможно соблюсти все международные и национальные требования, это непосредственно зависит от конструкции плавучих объектов.

Ключевые слова: посадочная площадка, судно, буровая установка, зона, посадка, взлет, безопасность.

A.N. Rak

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

ON FEATURES OF LIGHTING EQUIPMENT FOR LANDING SITES ON SHIPS AND DRILLING PLATFORMS

The study is devoted to issues related to the lighting of helicopter landing sites on ships and drilling platforms. The national and international requirements for the design of lighting systems are considered. Specific examples of installation of lighting equipment are given. It is noted that it is not always possible to meet all the international and national requirements, which directly depends on the design of floating objects.

Key words: landing site, ship, drilling rig, zone, landing, takeoff, safety.

Значение авиации в современном мире очень велико. О ее применении в военном деле и для перевозки грузов и пассажиров известно очень давно. Неменьший интерес представляет и малая авиация, особенно вертолетная, которая позволяет оперативно реагировать на различные жизненные ситуации.

Применяется малая авиация и на подвижных морских объектах – морских судах и буровых платформах. С помощью вертолетов производится, например, ледовая разведка в Арктике, доставляется техническое снабжение, продовольствие на морские суда и буровые платформы, осуществляется доставка экипажей или вахт, эвакуация пострадавших, обеспечение поисковых и аварийно-спасательных работ и т. д.

Не всегда взлет и приземление вертолетов могут осуществляться только днем, в условиях хорошей видимости, при благоприятных погодных условиях и т. д., поэтому доскональное изучение данного вопроса является очень актуальным.

Цель работы – показать особенности светотехнического обеспечения вертодромов на морских судах и буровых платформах.

В исследовании использованы материалы из открытых источников и личный опыт по эксплуатации светотехнического обеспечения посадочных площадок на морских судах.

Вопросы, связанные со светотехническим обеспечением на морских судах и буровых платформах, не являются новыми, и в свое время требования к нему были регламентированы нормативными документами [1, 2]. С течением времени целый ряд таких документов, например [1],

устарел, а поэтому появились новые, которые учитывают уже как конструктивные особенности самих судов и буровых платформ, так и новый современный уровень развития электротехнологий, применяемых для технического оснащения вертодромов.

Основные требования к светотехническому обеспечению наземных вертодромов изложены в требованиях Международной организация гражданской авиации (ИКАО). Но вопросы, связанные со светотехническим обеспечением наземных вертодромов и вертодромов на подвижных объектах, таких как морские суда и буровые платформы, могут существенно отличаться по причине ограниченности пространства.

Нормативная база, касающаяся светотехнического обеспечения вертодромов, является результатом совместного поиска решений ИКАО и Международной морской организации (ИМО) в данном вопросе. Несмотря на это в целом ряде стран национальная нормативно-правовая база имеет преимущество над международными требованиями [3–7], что следует учитывать при эксплуатации светотехнического оборудования.

Состав светотехнического обеспечения вертодромов определяется в соответствии с требованиями [8] и представлен на рис. 1, его внешний вид представлен на рис. 2. На посадочной площадке должна быть предусмотрена зона приземления и отрыва (TLOF), зона конечного этапа захода на посадку и взлета (FATO) и зона безопасности. Размеры таких зон на морских судах могут отличаться и будут зависеть от возможностей устройства посадочных площадок на морских судах (табл. 1), а также габаритных размеров и массы вертолетов (табл. 2).

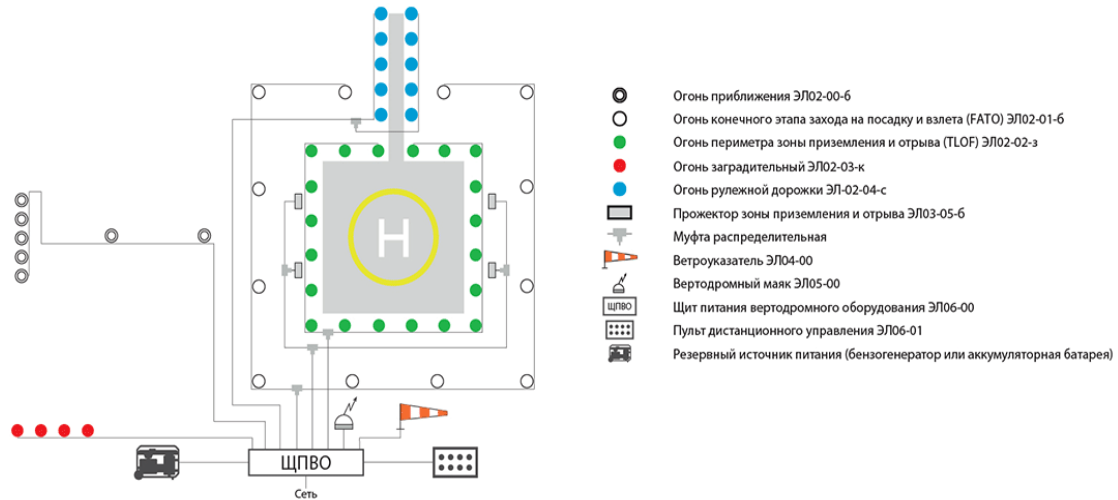


Рис. 1. Состав светотехнического обеспечения посадочных площадок

Огни периметра вертолетных площадок



Прочее светосигнальное оборудование



Рис. 2. Внешний вид светотехнического оборудования для посадочных площадок

Таблица 1

Размеры вертолетных площадок

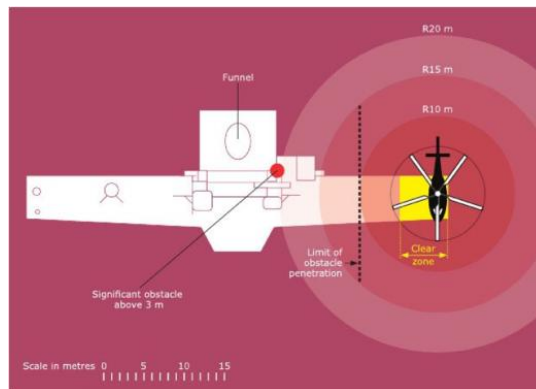
	- Вертолеты максимальным взлетным весом более 3100 кг
	- Достаточно площадок TLOF & FATO = 12 x 12 метров
	- Площадка TLOF 12 x 12 метров FATO 15 x 15 метров
	- Площадка TLOF 15 x 15 метров FATO 18 x 18 метров (часть вертолетов больше 3100 кг)

Таблица 2

Габаритные размеры и масса отдельных типов вертолетов

A	B	D	H	Несущий винт			Рулевой винт			Шасси			M	N	
				RD	E	F	TR	I	J	K	L	UC L			UC W
Производитель/Модель	Максимальный взлетный вес (Фунтов)	Общая длина (Фунтов)	Общая высота (Фунтов)	Диаметр несущего винта (Фунтов)	Количество лопастей	Расстояние от земли (Фунтов)	Радиус до рулевого винта (Фунтов)	Диаметр рулевого винта (Фунтов)	Количество лопастей	Расстояние от земли (Фунтов)	Тип	Длина	Ширина	Количество двигателей/Тип	Членов экипажа/пассажиров
AgustaWestland															
A-109A	5,732	42.8	11.2	36.1	4	10	25	6.7	2	2.3	wheel	11.6	7.5	2-T	1-2& 6-7
A-119 Koala	5,997	42.7	12.4	36.6	4	8.3	25.5	6.4	2	4.2	skid	13.4	5.5	1-T	1&6-7
AW-109E Power	6,283	42.8	11.5	36.1	4	8		6.4	2	3	wheel	11.5	7.1	2-T	1&7
AW-109S Grand	7,000	42.5	11.2	35.5	4	8		6.4	2	3.3	wheel	12.3	7.1	2-T	1-2& 6-7
AW-119 Ke	6,283	42.4	11.8	35.5	4	9.3		6.4	2	3.8	skid	11.1	7	1-T	1&6-7
AW-139	14,991	54.7	16.4	42.6	5	12.9		8.9	4	7.5	wheel	14.2	10	2-T	1-2& 15

Естественно, что в зависимости от типа судов будет зависеть как место приземления вертолета, так и состав светотехнического оборудования (рис. 3).



а



б

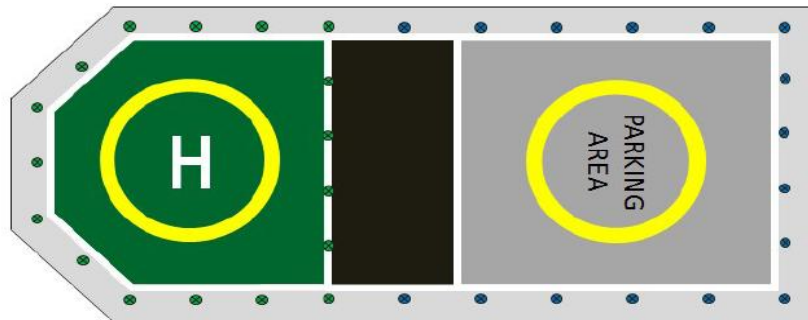
Рис. 3. Места расположения посадочных площадок на морских судах: на крыле мостика (а); на палубе танкера (б)

Расположение и особенности устройства посадочных площадок на буровых установках представлено на рис. 4.



а

Figure 6: Illustration of landing and parking area deck lighting scheme



б

Рис. 4. Посадочные площадки на буровых платформах: площадка для приземления (а); посадочная площадка и зона стоянки вертолета на буровой платформе (б)

Применение светотехнического обеспечения в ночное время (рис. 5) также имеет свои специфические особенности.

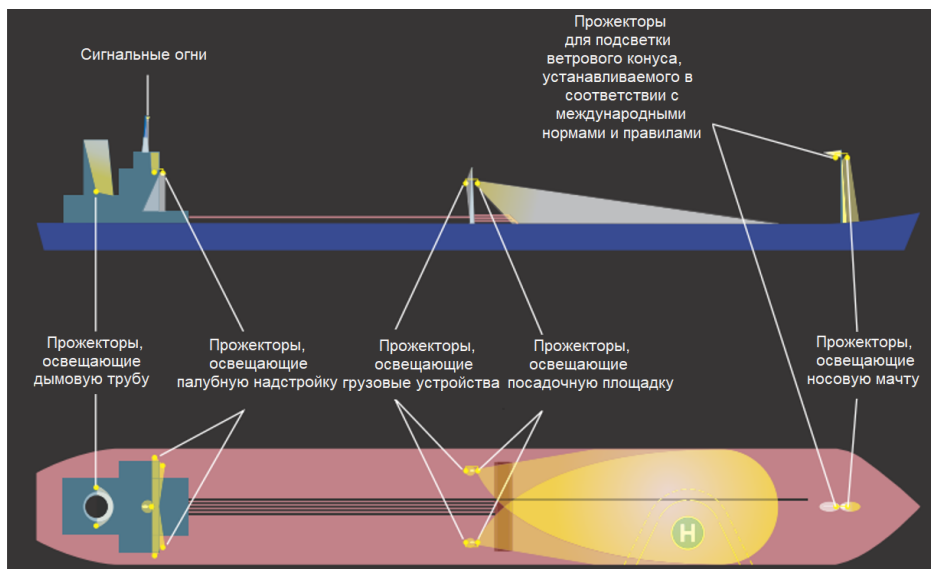


Рис. 5. Требования к освещению судна при работе с вертолетом в ночное время

При выполнении операций с вертолетом в ночных условиях следует строго соблюдать дополнительные требования по безопасности и освещению:

- прожекторы следует размещать так, чтобы они обеспечивали освещение вертолетной площадки, но не были направлены при этом в сторону вертолета;
- ветроуказатель должен быть освещен;
- не следует использовать устройства проблескового типа, т. к. они могут затруднять экипажу вертолета обзор в ночное время;
- если планируется постоянное освещение вертолетной площадки, то, согласно авиационной практике, по периметру вертолетной палубы/посадочной площадки через каждые 3 м следует установить чередующиеся синие и желтые огни. Сила света синего огня должна составлять 5 кандел, а желтого – 15 кандел;
- при подлете вертолета следует избегать использования фотоаппаратов со вспышкой.

Не всегда удается соблюдать требования, предъявляемые к составу светотехнического оборудования, например, в части установки оборудования для огней приближения (рис. 6).



а



б

Рис. 6. Светотехническое обеспечение посадочной площадки: без огней приближения (а); с огнями приближения (б)

Для безопасного приземления вертолетов на палубу буровой установки должно быть предусмотрено достаточное количество огней для обеспечения того, чтобы летный экипаж мог легко видеть по крайней мере один источник света/комплект огней независимо от ориентации вертолета на вертолетной площадке. Ожидается, что для этого потребуется по меньшей мере четыре фонаря или комплекта огней, расположенных под углом 45° к биссектрисе сектора, свободного от препятствий [3].

Сигнальная система ретранслятора может включать в себя наборы отдельных синих, желтых и красных огней или отдельные световые блоки, каждый из которых может отображать все три цвета (рис. 7). Ограничений на протокол/формат связи между системой мониторинга вертолетной площадки (СМВП) и сигнальными огнями ретранслятора для сигнализации состояния, которое должно отображаться, не существует. Однако для обеспечения максимальной функциональной совместимости между СМВП и системами освещения разных производителей всегда должен быть доступен интерфейс с тремя входами сигнала, описанный в табл. 3.

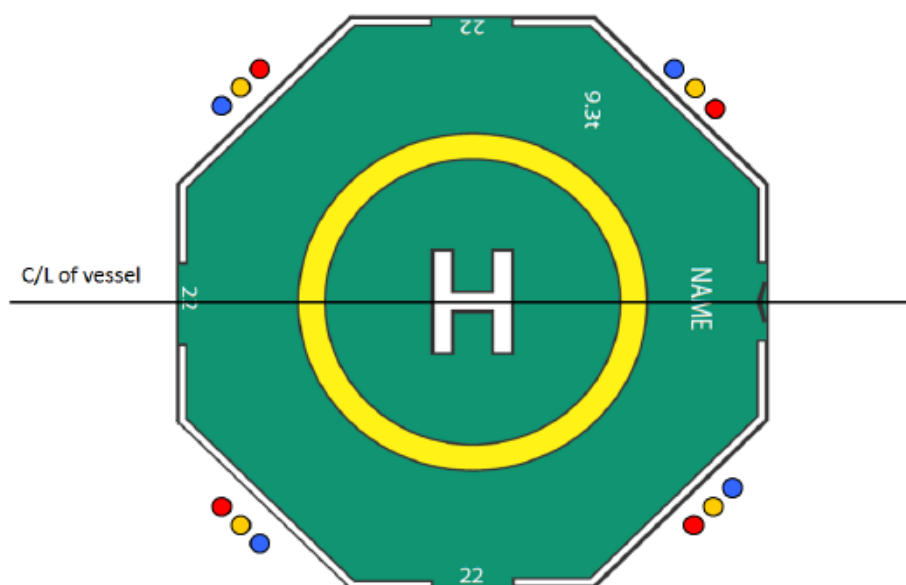


Рис. 7. Сигнальная система ретранслятора

Таблица 3

Доступный интерфейс совместимости между системой мониторинга вертолетной площадки и светотехническим оборудованием различных производителей

Сигналы системы мониторинга вертолетной площадки			Режимы работа огней	
Режим 1	Режим 2	Режим 3	Цвет	Режим
0	0	0	Отключен	Данные отсутствуют
0	1	0	Синий	Равномерное горение
1	0	0	Желтый	Равномерное горение
1	1	0	Красный	Равномерное горение
0	0	1	Отключен	Данные отсутствуют
0	1	1	Синий	Нечастое мигание
1	0	1	Желтый	Частое мигание
1	1	1	Красный	Частое мигание

Все электрооборудование посадочных площадок в соответствии с ГОСТ 14254-96 и Публикацией МЭК 60079 должно иметь степени защиты: для электрооборудования, устанавливаемого на открытой палубе IP 56, для помещений – IP 22. Электрооборудование должно быть надежно заземлено. Для питания светотехнического оборудования должен быть предусмотрен источник аварийного питания, который обеспечивает функционирование площадки в течение 18 ч.

Из вышеизложенного следует:

1. Маркировка посадочных площадок не соответствует требованиям государственных стандартов и отличается от требований ИКАО и общепризнанных международных норм. Также не соответствуют нормам ИКАО состав и цвет светотехнического оборудования на посадочных площадках.

2. В правилах классификации и постройки морских судов в соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства не рассматриваются детально вопросы, связанные с проектированием посадочных площадок.

3. Если в технических регламентах ИКАО подробно изложены основные требования к геометрическим размерам посадочных площадок, то отсутствуют рекомендации по выбору и составу основного светотехнического оборудования.

4. При выполнении операций с вертолетом в ночных условиях следует строго соблюдать дополнительные требования по безопасности и пользования световыми сигналами.

5. Для обеспечения безопасной эксплуатации электрооборудования его следует заземлять, предусмотреть аварийный источник электроснабжения. Все электрооборудование должно соответствовать уровням защиты от внешних факторов.

6. Состав и мощность светотехнического оборудования будет зависеть от конкретного типа вертолета, который возможно будет принять на палубе.

Литература

1. Общие авиационные требования к средствам обеспечения вертолетов на судах и приподнятых над водой платформах (ОАТ ГА-90) введены в действие с 01.05.1990 г. Поправка № 1 от 11.06.1997 г. – 25 с.

2. НД № 2-020201-013. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. – Санкт-Петербург, 2014. – 486 с.

3. CAP 437 (Управление гражданской авиации Великобритании, 2018). Стандарты для вертолетных посадочных площадок на морских объектах. – 297 с.

4. BSL D 5-1 (Норвегия, 2008): Регламент выполнения полетов коммерческой авиации с вертолетной площадки объектов и судов, находящихся в море на континентальном шельфе.

5. NORMAM-27/DPC (Бразилия, 2015): Нормы проектирования вертолетных площадок, установленных на судах и морских платформах.

6. CAAP 92-4(0) (Австралия, 2013): Руководящие принципы проектирования и эксплуатации офшорных вертолетных площадок.

7. Airport standards directive 904 (Малайзия, 2005): Стандарты для вертолетных палуб.

8. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Аэродромы. Том II. Вертодромы. – Изд. четвертое. – 2013. – 117 с.

УДК 621.313.333

А.Н. Рак¹, В.О. Гутаревич², Д.В. Кутилин¹

¹ Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru;

² Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001

ОБОСНОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО ПРИНЦИПА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДРУЛИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Представленная работа посвящена вопросам, связанным с обоснованием принципа частотного управления подруливающими устройствами на морских судах. В исследованиях применен графо-аналитический метод исследования режимов работы, который является наиболее простым и наглядным для данного круга специализированных задач.

Ключевые слова: частота, управление, подруливающее устройство, высоковольтный электродвигатель.

A.N. Rak¹, V.O. Gutarevich², D.V. Kutilin¹

¹ Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru;

² Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283001

SUBSTANTIATION OF FREQUENCY CONTROL PRINCIPLE OF ASYNCHRONOUS HIGH-VOLTAGE ELECTRIC THRUSTER

The presented work is devoted to issues related to the substantiation of the principle of frequency control of thrusters on ships. The grapho-analytical method for investigating operating modes, which is the simplest and most visual for this range of specialized tasks is used.

Key words: frequency, control, thruster, high-voltage electric motor.

Подруливающие устройства (ПУ) морских судов относятся к средствам активного управления [1], которые обеспечивают лучшую управляемость носовой части судна при малых скоростях движения. Существует множество конструкций ПУ, а также три основных типа приводов: электрический, дизельный, электрогидравлический. Каждый из них применяется в зависимости от конкретного района эксплуатации судна, а также временных ограничений эксплуатации. Наибольшее распространение получили ПУ с электрическим приводом. Длительность его эксплуатации регламентируется и ограничивается 30 мин, что связано с особенностями теплового режима приводного электродвигателя [2]. Таким образом, современные системы управления должны обеспечить правильное функционирование ПУ и не допустить чрезмерного нагревания электродвигателя.

Цель работы – обоснование принципа частотного управления высоковольтным судовым электродвигателем.

В работе применен графо-аналитический метод исследования режимов работы судового высоковольтного асинхронного электродвигателя (АД) с преобразователем частоты (ПЧ).

Переход к высоковольтным системам производства электрической энергии на морских судах связан со стремлением уменьшения токовых нагрузок на генерирующие установки и питающие кабели.

Например, рассмотрим ПУ (рис. 1) с техническими характеристиками, представленными в табл. 1.



Рис. 1. Внешний вид подруливающего устройства

Таблица 1

Технические характеристики подруливающего устройства

Производитель	Тип	Диаметр винта, мм	Мощность приводного двигателя, кВт	Частота вращения двигателя, об/мин	Частота вращения винта, об/мин
Rolls-Royce/ Kamewa	ТТ 2652 AUX СР*	2650	2200	892	204

* винт регулируемого шага (ВРШ)

Для приведения в действие ПУ применяется высоковольтный АД с соответствующими техническими характеристиками, приведенными в [3] и табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики высоковольтного асинхронного электродвигателя

Тип	$U_n, В$	$I_n, А$	$I_{п}, А$	$I_0, А$	$\cos \varphi$	$\eta, \%$	$\lambda_{п}$	λ_{max}
ABB AMB 560L8A VAMH	6600	241	1277,3	59	0,89	0,92	1,8	2,0

Построим естественную и искусственную механические характеристики высоковольтного АД (рис. 2.). Их построение выполним в соответствии с известной в дисциплине «Электрические машины» формулой Клосса [4], с применением программных продуктов MathCAD.

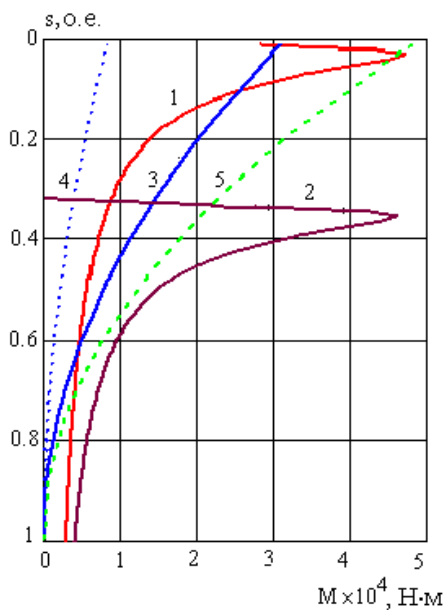


Рис. 2. Результаты моделирования электропривода:
 1 – естественная механическая характеристика электродвигателя;
 2 – искусственная механическая характеристика электродвигателя;
 3 – моментная характеристика винта при $H/D = 1$;
 4 – моментная характеристика винта при $H/D = 0,4$;
 5 – моментная характеристика винта при $H/D = 1,4$

В данной системе координат также построим механические характеристики винта ПУ [5] с учетом его шага и момента, приведенных в [6] и табл. 3.

Точка пересечения механических характеристик определяет режим работы данного электропривода.

Таблица 3

Технические характеристики подруливающих устройств с винтом регулируемого шага

H/D	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
k_m	0,013	0,018	0,025	0,034	0,043	0,055	0,068	0,088	0,106	0,122	0,141

Как следует из рис. 2, устойчивая работа асинхронного приводного электродвигателя обеспечивается при $H/D = 0,4$. При более высоких соотношениях H/D механические характеристики все больше смещаются к границе устойчивости самого электродвигателя.

Поэтому необходимо обеспечить другой способ регулирования частоты вращения. В курсе «Электрические машины» досконально изложены способы их регулирования. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки [4]. Доскональное изучение данного вопроса показывает, что наибольший интерес для данного случая могут представлять только полюсное и частотное регулирование АД. При полюсном регулировании, к сожалению, можно получить ограниченный диапазон частот регулирования. Кроме того, АД с полюсным регулированием оказываются гораздо дороже при их производстве.

Таким образом, путем взаимоисключения можно сделать вывод о необходимости применения именно частотного способа регулирования частоты вращения.

Из вышеизложенного следует:

1. На естественной механической характеристике устойчивая работа всего электропривода обеспечивается только при низких значениях соотношений ВРШ H/D . При более высоких значениях все механические характеристики винта смещаются к границе устойчивости самого АД. При этом с увеличением нагрузки также происходит снижение частоты вращения АД.

2. Расширить диапазон регулирования самого ВРШ, и это очевидно, можно путем перехода на искусственные механические характеристики. Их можно получить или путем регулирования числа пар полюсов, или частотным способом.

3. Поскольку двигатели с полюсным регулированием имеют ограниченный диапазон и оказываются более дорогими при изготовлении, то наиболее рациональным здесь оказывается частотный способ, который позволяет обеспечивать как более плавное регулирование частоты вращения самого АД, так и системы управления ВРШ.

Литература

- ГОСТ Р ИСО 7255-2007 Судостроение. Средства активного управления судами. Словарь. – М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с.
- Правила технической эксплуатации морских судов. Основное руководство РД 31.20.01 – 97. – М.: Мортехинформреклама, 1997. – 66 с.
- ABB/ BU Machines/ HV induction motors IEC catalogue EN 05-2006.
- Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
- Труднев С.Ю., Рак А.Н. Электрическое движение на морских судах [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – Текстовое (символьное) электронное издание. – Новокузнецк: Знание-М, 2022. – 350 с.
- Rory van Doorn. Bow Thruster Currents at Open Quay. Constructions on Piles. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands. – March 2012. – 172 p. [Электронный ресурс]. – URL: [www.https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:06d4d38d-6d49-407b-856e-ace81a7b41a3/datastream/OBJ/download](https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:06d4d38d-6d49-407b-856e-ace81a7b41a3/datastream/OBJ/download). (дата обращения: 30.03.2020).

УДК 629.5.03

А.Н. Рак, С.А. Жуков, И.О. Левищев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОДИЗЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА КОРАБЛЯХ

Представленная работа посвящена вопросам, связанным с определением параметров турбодизельного движения на кораблях. В работе использована информация, приведенная только в открытых источниках. Исследования выполнялись графоаналитическим методом. Статья может быть полезна специалистам, занимающимся вопросами технической эксплуатации кораблей.

Ключевые слова: турбина, дизель, движение, корабль, пропульсивный комплекс.

A.N. Rak, S.A. Zhukov, I.O. Levishchev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

DETERMINING PARAMETERS OF TURBODIESEL PROPULSION ON SHIPS

The presented work is devoted to the determining the parameters of turbodiesel propulsion on ships. The information was taken only from open sources. The research was carried out using the grapho-analytical method. The article may be useful to specialists involved in the technical operation of ships.

Key words: turbine, diesel engine, motion, ship, propulsive complex.

Известно, что движение морских судов и кораблей обеспечивается пропульсивными комплексами (ПК). Их состав может существенно отличаться один от другого: по конструкции, по количеству и сложности входящего в них оборудования. Это зависит от назначения, предполагаемых маршрутов движения, технологических возможностей судостроительных предприятий, налаженной системы производственной кооперации с производителями различного оборудования, системами управления, автоматике, стремлением судоходных компаний к максимальной универсализации оборудования и, естественно, их финансовыми возможностями.

Несмотря на это, все ПК имеют в своем составе какие-либо сходные энергетические установки. Как правило, основу ПК на судах составляют малооборотные и среднеоборотные главные двигатели, на кораблях – высокооборотные дизели и газовые турбины. В последнее время на морских судах широкое распространение получили комбинированные дизель-электрические комплексы [1, 3], а на газозовах – турбодизельные установки.

Для более детального анализа рассмотрим схему ПК, представленную на рис. 1. Назовем ее обобщенной, поскольку в нее включены все наиболее распространенные типы судовых и корабельных движителей: турбины, дизельные и электрические двигатели. Путем исключения из схемы ПК (рис. 1) или добавления в нее каких-либо элементов, т. е. комбинирования можно получить другие различные схемы, например, приведенные на рис. 2.

Цель работы – разработка упрощенной методики по анализу судовых ПК, позволяющей определять параметры и характеристики рабочего режима. В работе будет применен дедуктивный метод исследования, использована информация только из открытых доступных источников, технической документации, а также результаты собственных исследований авторов.

Рассмотрим многофункциональный фрегат *Bhumibol Adulyadej* (Тайланд), построенный по технологии «Stealth» с тактико-техническими характеристиками: водоизмещение – 3 700 т, скорость движения – 33 узла; длина – 124,1 м; ширина – 14,4 м; осадка – 8 м, которые приведены в [2].

Характерной особенностью данного фрегата является то, что на нем установлено оборудование фирм Zahnradfabrik Renk AG и MAN из Аугсбурга (ФРГ), изготавливающих судовые редукторы и гребные винты регулируемого шага (ВРШ) соответственно. Такое оборудование применяется в составе ПК на большинстве иностранных кораблей.

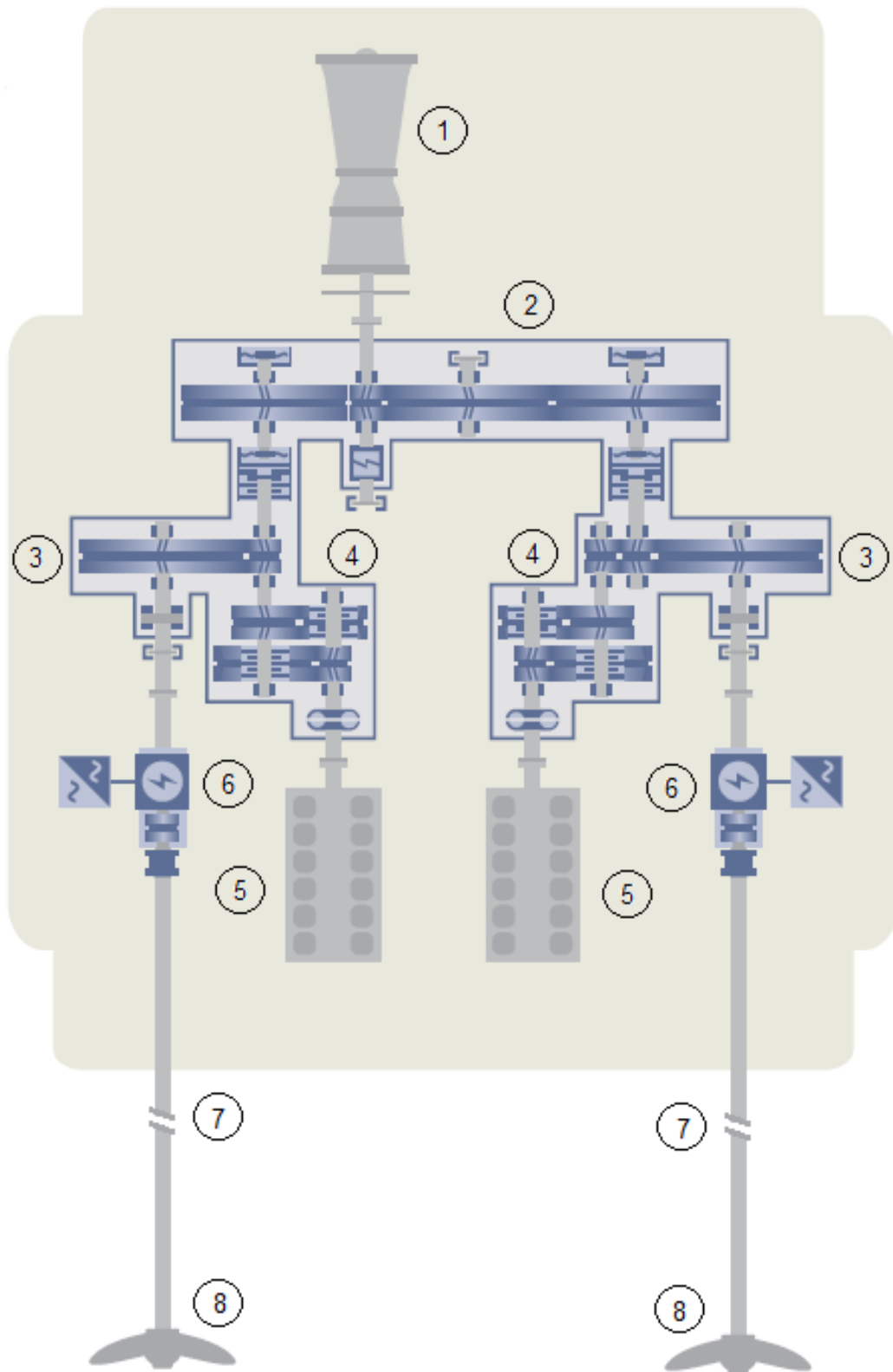


Рис. 1. Схема обобщенного пропульсивного комплекса:
1 – газовая турбина; 2 – соединительный редуктор; 3, 4 – согласующие редукторы;
5 – главные двигатели; 6 – гребные электродвигатели; 7 – гребные валы; 8 – гребные винты

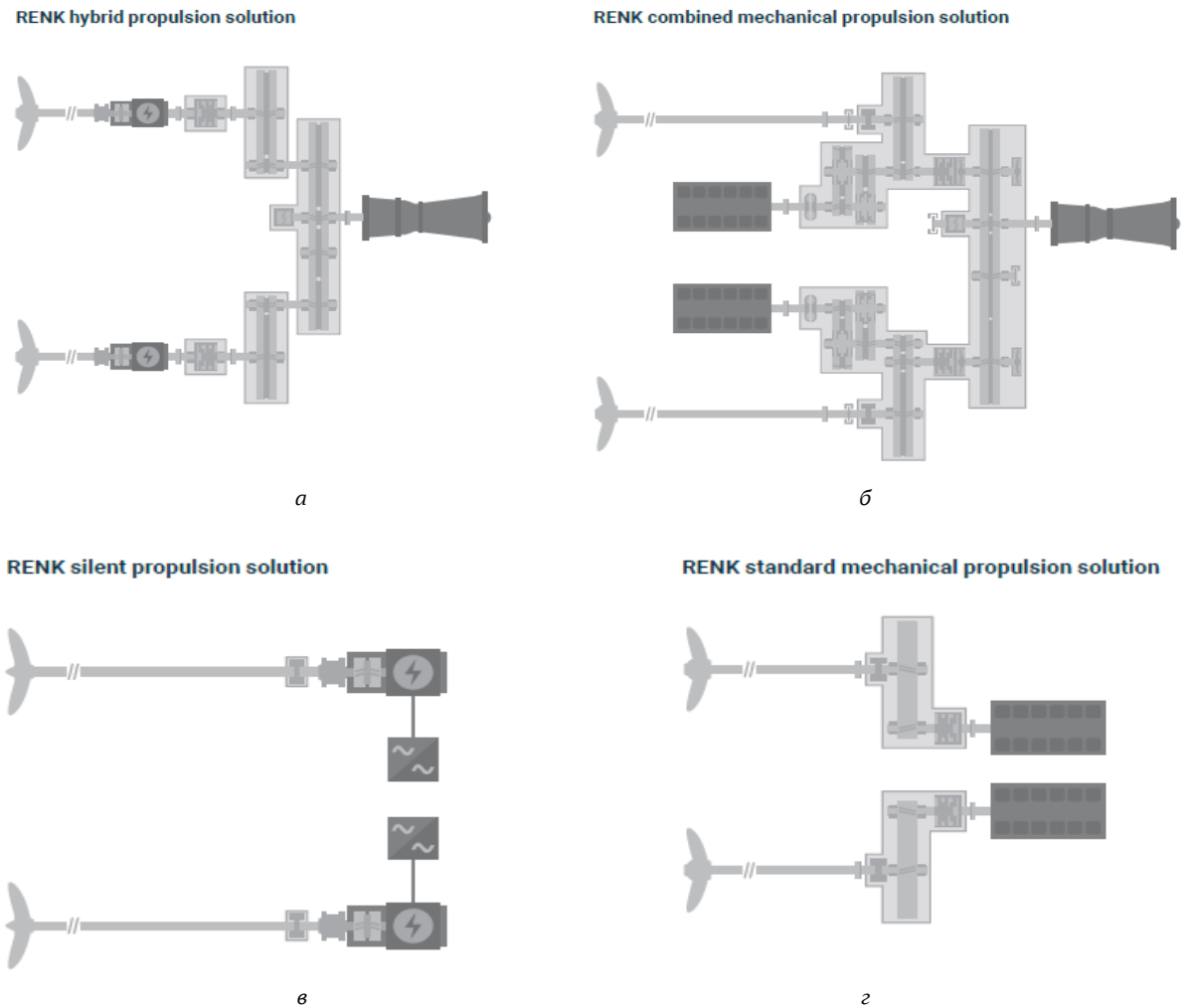


Рис. 2. Примеры пропульсивных комплексов:
 а – газовая турбина и электрические двигатели; б – газовая турбина и дизельные двигатели;
 в – электрический; z – дизельный

Мощность главного движителя в общем случае в соответствии с [3] можно определить:

$$N_{\text{ДВ}} = K_{\text{д}} \cdot R \cdot v, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где R – сопротивление движению, кН;

v – скорость движения судна, м/с.

$K_{\text{д}}$ – коэффициент увеличения сопротивления движению морских судов на главных морских маршрутах, который колеблется в пределах 20–30%.

Вопрос, связанный с определением сопротивления движению судна при заданных основных размерениях судна и промежуточных величин, в них входящих, подробно изложен в [3].

Ряд диаметров стандартных винтов регулируемого шага фирмы MAN представлен в [4] и на рис. 3.

Число Фруда:

$$Fr = \frac{v_c}{\sqrt{g \cdot L}}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

v_c – скорость судна, м/с.

На рис. 4. приведена зависимость сопротивления движению судна от числа Фруда, коэффициентов остроты корпуса и тонкости.

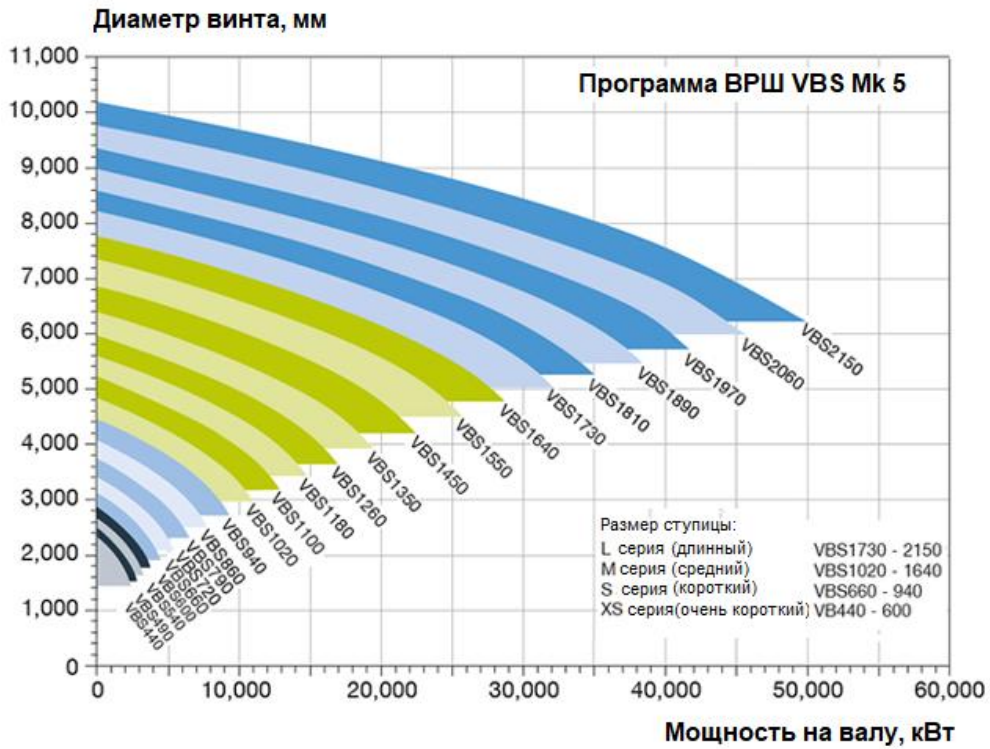


Рис. 3. Ряд диаметров стандартных винтов фирмы MAN

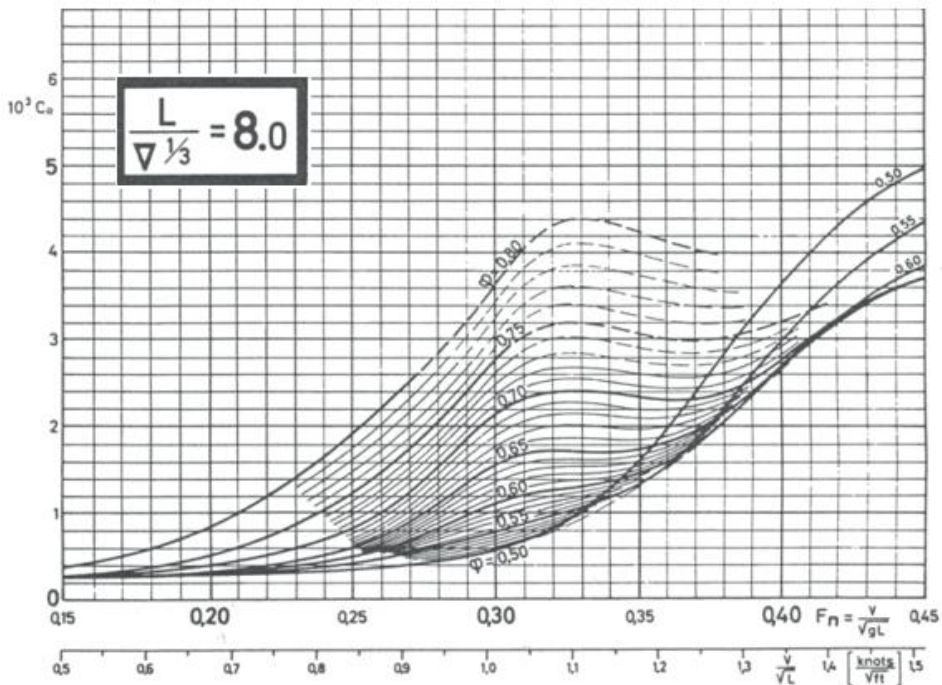


Рис. 4. Зависимость сопротивления движению судна от числа Фруда (Fr), коэффициентов остроты корпуса (ψ) и относительной длины $\left(\frac{L}{\sqrt[3]{V}}\right)$

Полученное из рис. 4 значение подставляем в (1) и получаем искомое значение мощности движителя. Кроме мощности также требуется определить и частоту вращения гребного вала.

Частота вращения гребного вала в соответствии с [3] определяется:

$$n = \sqrt[3]{\frac{N}{D^5}}, \text{ об/мин.} \quad (3)$$

По полученным выше значениям мощности главного движителя и частоты вращения, из соответствующих каталогов выбираем стандартные значения соответствующего движителя.

Так, в соответствии с [2] на корабле установлены два дизеля типа MTU 16V 1163M94 мощностью 6 000 кВт и частотой вращения 1 150 об/мин и одна газовая турбина типа General Electric LM2500 с частотой вращения 3 000 об/мин. Общая схема данного компоновочного решения представлена на рис. 5. Данная схема реализует одну из рассмотренных выше концепций, а именно комбинированный ПК с дизельными двигателями и газовой турбиной.

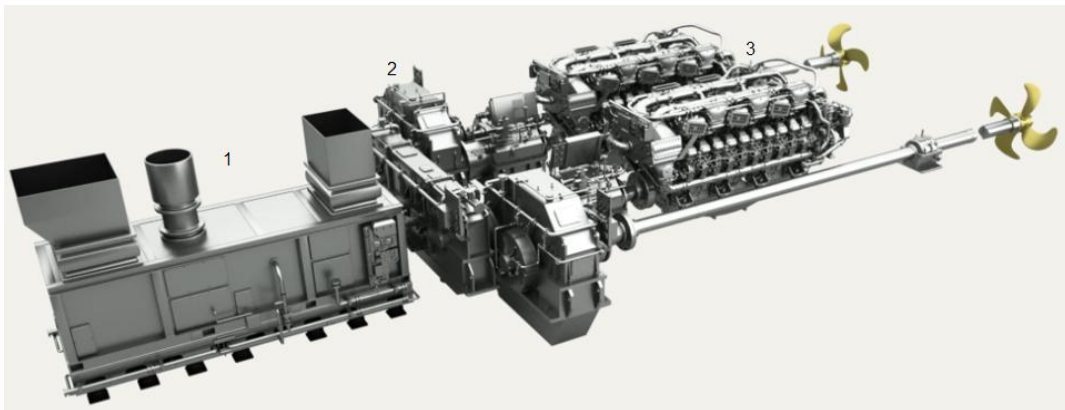


Рис. 5. Комбинированный пропульсивный комплекс: 1 – газовая турбина; 2 – редуктор; 3 – дизели

Выполним дальнейший анализ работы ПК.

Мощность дизельного двигателя в зависимости от частоты вращения согласно [5] описывается выражением:

$$N_{\text{д}} = N_{\text{н}} \cdot \left(0,5 \cdot \frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} + 1,5 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} \right)^2 - \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} \right)^3 \right), \quad (4)$$

где $N_{\text{н}}$ – номинальная мощность дизеля, кВт;

ω – угловая частота вращения дизеля, рад/с;

$\omega_{\text{н}}$ – номинальная угловая частота вращения дизеля, рад/с.

Выражение для определения вращающего момента, создаваемого дизелем или турбиной, записываются одинаково:

$$M_{\text{н}} = 9550 \frac{N_{\text{н}}}{n_{\text{н}}}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (5)$$

Мощность турбины в зависимости от частоты вращения в соответствии с [5] можно определить:

$$N_{\text{т}} = N_{\text{н}} \cdot \frac{n}{n_{\text{н}}} \cdot \left(k_{\text{п}} - \frac{n}{n_{\text{н}}} \cdot (k_{\text{п}} - 1) \right), \text{ кВт}, \quad (6)$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент перегрузки турбин;

n и $n_{\text{н}}$ – текущее и номинальное значение частоты вращения турбины соответственно;

$N_{\text{н}}$ – номинальная мощность турбины, кВт.

Значение вращающего момента винта определяется по методике, досконально изложенной в [3]. Значение коэффициента момента, необходимое для его определения можно принять из рис. 6.

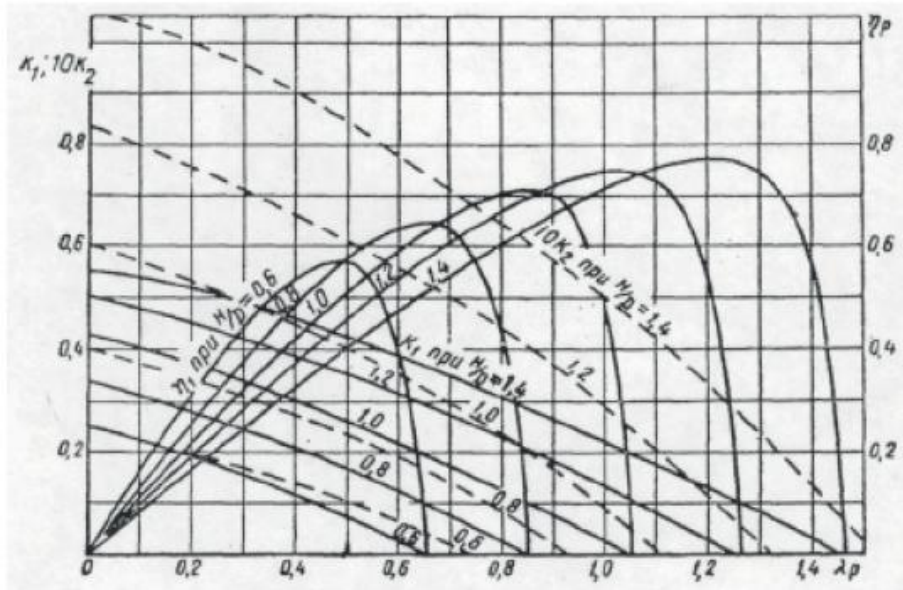


Рис. 6. Сводные кривые действия серии из пяти геометрически подобных моделей винтов

В соответствии с выражением (5) на рис. 7 построены механические характеристики газовой турбины и винта, а в соответствии с (6) на рис. 8 представлены механические характеристики дизеля и винта. Точка пересечения механических характеристик с характеристиками двигателей определяет параметры рабочего режима ПК.

Мощность турбины, необходимую для движения корабля, предварительно можно оценить в соответствии с выражением:

$$N = k_1 \cdot W^\alpha \cdot v_c^\beta, \text{ кВт} \quad (7)$$

где W – водоизмещение корабля, т;

v_c – скорость судна, м/с;

$k_1 = 0,003$ – коэффициент, зависящий от формы корпуса;

$\alpha = 0,8 - 1$ и $\beta = 3$ – показатели степеней, зависящие от формы корпуса.

Построение механической характеристики турбины выполняется в соответствии с [6].

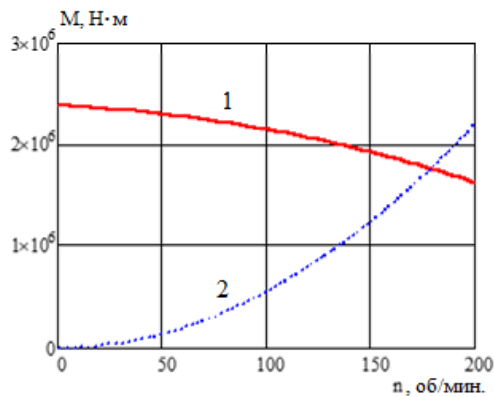


Рис. 7. Определение параметров рабочего режима пропульсивного комплекса с турбинным приводом:
1 – механическая характеристика турбины;
2 – механическая характеристика винта

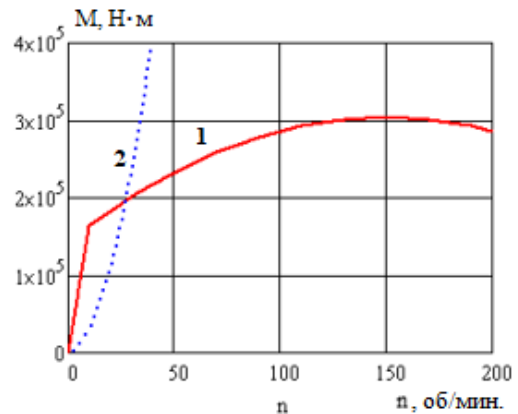


Рис. 8. Определение параметров рабочего режима пропульсивного комплекса с дизельным двигателем:
1 – механическая характеристика дизеля;
2 – механическая характеристика винта

Из вышеизложенного следует:

1. Результаты расчетов показывают, что для данного корабля частота вращения винта при движении с приводом от дизеля составит 25 об/мин при вращающем моменте $2 \cdot 10^5$ Н·м.
2. При движении с приводом от газовой турбины частота вращения винта составит 175 об/мин при вращающем моменте $1,87 \cdot 10^6$ Н·м.
3. Движение с приводом от дизеля более перспективным при движении на малых частотах вращения, а движение с приводом от газовой турбины на больших.

Литература

1. *Рак А.Н., Царенко С.Н.* Особенности расчета параметров вспомогательно-аварийного движения на морских судах с комбинированным дизель-электрическим двигателем // Вестник Государственного университета морского флота имени адмирала С.О. Макарова. – СПб: ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2021. – Т. 13, № 1. – С. 115–125.
2. Тактико-технические характеристики многофункционального фрегата *Bhumibol Adulyadej* [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Bhumibol_Adulyadej-class_frigate (дата обращения 04.06.2025).
3. *Труднев С.Ю., Рак А.Н.* Электрическое движение на морских судах [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – Текстовое (символьное) электронное издание. – Новокузнецк: Знание-М, 2022. – 350 с.
4. MAN Alpha naval propellers [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.man-es.com> (дата обращения: 29.05.2025).
5. *Ланчуковский В.И., Козьминых А.В.* Автоматизированные системы управления судовыми дизельными и газотурбинными установками: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 335 с.
6. Справочник судового механика (в двух томах). – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Под общей редакцией канд. техн. наук Л.Л. Грицая. – М.: Транспорт, 1973. – С. 1–696.

УДК 629.5.03

А.Н. Рак, М.А. Кошкин

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРОВ ФЛЕТТНЕРА

Повышение энергоэффективности на морских судах тесно связано с вопросами экологии и применения в морской отрасли альтернативных источников энергии для обеспечения морских судов энергией всех видов. В работе рассмотрена методика определения параметров ротора Флеттнера как одного из возможных путей, направленных на повышение мощности судовых пропульсивных установок.

Ключевые слова: ротор Флеттнера, ветер, подъемная сила, сила сопротивления, приводной двигатель.

A.N. Rak, M.A. Koshkin

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

DETERMINATION OF FLETTNER ROTORS ENERGY CHARACTERISTICS

Improving energy efficiency on ships is closely related to environmental issues and the use of alternative energy sources in the marine industry to provide ships with all types of energy. The method for determining the parameters of the Flettner rotor as one of the possible ways aimed at increasing the power of marine propulsion systems is considered.

Key words: Flettner rotor, wind, lifting force, resistance force, drive motor.

С давних времен человечество правильно оценило и смогло использовать силу одной из стихий – ветра. Изначально это заключалось в том, что ловили ветер парусом. Но бывали и такие моменты, когда на море наступал полный штиль и движение судна не осуществлялось вообще. На рубеже XVIII–XIX столетий, в связи с появлением работ С. Карно появилось новое направление в физике «Термодинамика», которое позволило создать новый тип движителей – тепловые (паровые движительные установки, а в дальнейшем – дизельные). Но этот переход нередко длился десятилетиями, что было связано как с техническим и технологическим уровнем развития стран, так и с их финансовыми возможностями.

В качестве топлива для тепловых движителей в разное время применялось углеводородное топливо (уголь, дизельное топливо). В 1973 г. в мире разразился нефтяной кризис, и все судноходные компании мира стали массово переходить на мазутное топливо или совершенствовать сами тепловые движители. К концу XX в. на повестку дня вышли вопросы, связанные с парниковым эффектом, что в свою очередь снова вынудило всю морскую отрасль искать альтернативные пути решения данной проблемы, связанные с сокращением выбросов различных газов с морских судов, которые оказывают влияние на разрушение озонового слоя. Одним из таких направлений стало применение ветроэнергетических установок [1, 2].

Кинетическая энергия ветра может использоваться для питания устройств преобразования энергии, обеспечивая движение, выработку электроэнергии или выполнение механических задач. Ветроэнергетические системы отличаются одним принципиальным моментом: ветер используется в качестве дополнения к движению судна и, следовательно, для снижения расхода топлива при заданной скорости. Ветроэнергетические системы пока не используются в качестве единственного источника энергии для коммерческих судов. Размеры судов, использующих энер-

гию ветра, ограничены необходимостью большой чистой палубы, минимальным такелажем, устойчивостью судна, численностью экипажа, что может сказываться на потенциальной тяге, создаваемой ветроэнергетическим оборудованием.

Цель работы – определение параметров ротора Флеттнера для работы в составе пропульсивного комплекса морского судна. В работе использованы материалы, приведенные в руководящих документах международной морской организации (ИМО) и других открытых источниках.

Ротор Флеттнера был запатентован в 1922 г. А. Флеттнером и продемонстрирован еще в 1926 г. во время пересечения Атлантики (рис. 1), но с тех пор данная технология не получила широкого распространения. В 2010 г. грузовое судно дедвейтом 9 700 т было оснащено шестью роторами Флеттнера (рис. 2) для оценки их роли в повышении топливной эффективности.



Рис. 1. Первое судно, оснащенное роторами Флеттнера

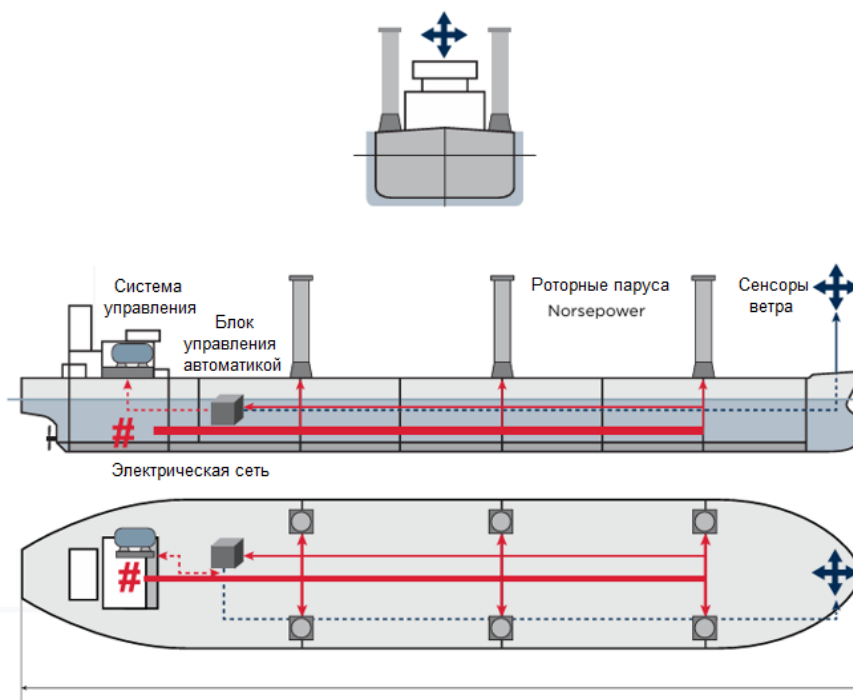


Рис. 2. Система с роторами Флеттнера

В середине 2018 г. два ротора Norsepower были установлены на танкере-продуктовозе дедвейтом 109 647 т, принадлежащем европейскому судовладельцу. К сожалению, результаты испытаний данной системы пока не разглашаются.

Ротор Флетнера представляет собой устройство, использующее энергию ветра для приведения в движение судна с помощью эффекта Магнуса. Геометрия ротора Флетнера представляет собой высокий и широкий цилиндр с торцевым диском наверху (рис. 2). Ротор Флетнера вращается не из-за ветра, что является распространенным заблуждением, он приводится в действие электродвигателем. Если на вращающийся ротор воздействует воздушный поток, то с одной стороны он ускоряется, а с противоположной – замедляется. Колебания скорости воздушного потока создают разное давление, которое создает подъемную силу, перпендикулярную направлению воздушного потока. Управляемый внутренний механизм изменяет направление силы, направляя тягу.

Эффект Магнуса был назван в честь немецкого ученого Г. Магнуса в 1852 г. Эффект возникает, когда вращающееся тело подвергается воздействию движущейся жидкости. Когда жидкость сталкивается с вращающимся телом (в случае ротора Флетнера воздух сталкивается с вращающимся цилиндром), воздух ускоряется на той стороне, которая движется в том же направлении, что и поток, и замедляется на той стороне, которая движется в противоположном направлении потока. Это происходит из-за трения между поверхностью цилиндра и воздухом. Разница в скорости жидкости на каждой стороне вызывает перепад давления, который действует на цилиндр и создает толкающую силу, перпендикулярную потоку жидкости, как показано на рис. 3.

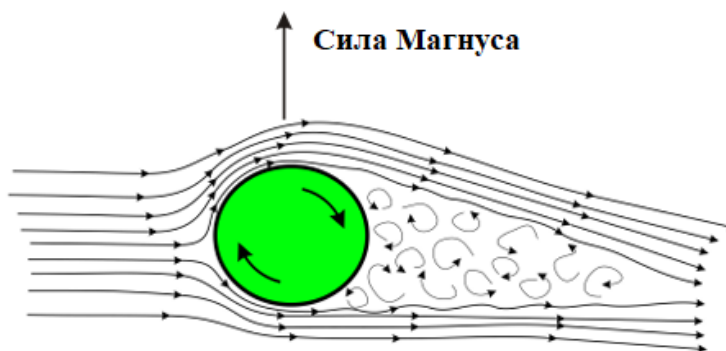


Рис. 3. Эскиз эффекта Магнуса с линиями потока и турбулентным следом

Перпендикулярная сила означает, что ротор Флетнера не может использовать ветер, когда набегающий поток составляет 0° по курсу судна или с кормы. Ротор Флетнера может использовать ветер при углах $30\text{--}40^\circ$ и до $140\text{--}150^\circ$. Даже если сила, действующая от ротора, перпендикулярна, наиболее эффективный угол ветра не равен 90° , поскольку ротор Флетнера имеет силу сопротивления, создаваемую потоком жидкости. Если угол ветра составляет 90° на судно, сила сопротивления действует только как сопротивление для роторного двигателя.

Если ветер имеет угол, так что результирующая сила между подъемной силой и сопротивлением направлена в сторону луча судна, сила сопротивления выгодна (рис. 4). Зеленые области показывают, где может быть произведена наибольшая мощность. Меньше энергии может быть произведено в желтых областях, а в красных областях выходная мощность отрицательна, потому что сопротивление воздуха ротора Флетнера выше, чем передаваемая толкающая сила. Поскольку эффект ротора определяется перепадом давления по цилиндру, больший эффект будет обеспечен, если есть перепад давления по всему цилиндру. Функция торцевого диска заключается в том, чтобы удерживать низкое и высокое давление разделенными в верхней части цилиндра. Если бы не было торцевого диска, перепад давления протекал бы в верхней части ротора, что привело бы к образованию вихрей, которые снижают его эффективность.

Реализация концевой диска была впервые предложена Л. Прандтлем в 1924 г., и это значительно увеличило подъемную силу, создаваемую ротором. Размер концевой диска выражается как отношение диаметра ротора, и эффект концевой диска во многом зависит от коэффициента завихрения (α). Коэффициент завихрения – это отношение между вымпельным ветром и окружающей скоростью. Для более низких коэффициентов завихрения (< 1) и более высоких коэффициентов завихрения (> 3) концевой диск меньшего размера вызывает меньшее сопротивление.

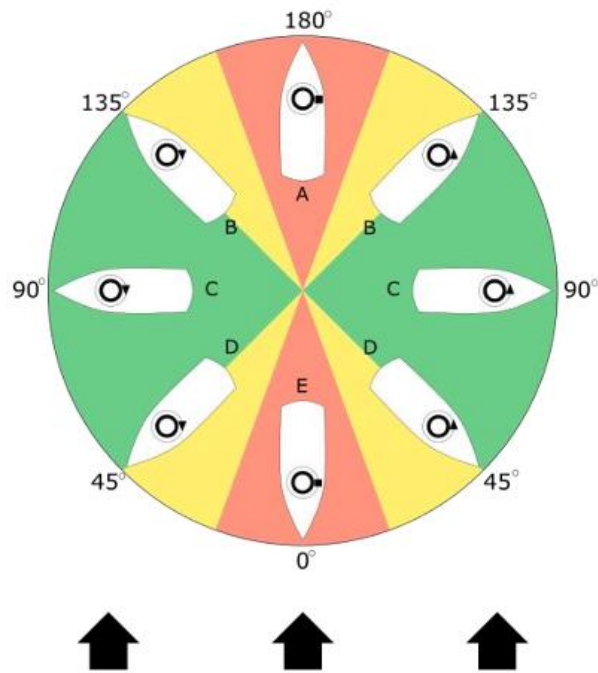


Рис. 4. Направление ветра относительно судна с ротором Флеттнера и угол, под которым ротор Флеттнера может использовать ветер

В среднем диапазоне коэффициентов завихрения ($1 < \alpha < 3$) больший размер концевой диска более выгоден для подъемной силы и коэффициента сопротивления. Лишь немногие коммерческие судоходные компании установили роторы Флеттнера на новых судах или модернизировали их на своих старых судах. E-Ship 1 – судно, спущенное на воду в 2010 г., дедвейтом 10 000 т и оснащенное четырьмя роторами Флеттнера. Эти роторы имеют высоту 27 м и диаметр 4 м. Судно E-Ship 1 может достичь снижения расхода топлива примерно на 15% при хороших ветровых условиях благодаря четырем роторам Флеттнера на борту. Другим примером коммерческого судна с установленными роторами Флеттнера является судно M/V Estraden, принадлежащее судоходной компании Bore Ltd. На судне M/V Estraden модернизированы два ротора Флеттнера, которые были установлены в двух разных случаях: один в 2014 и другой в 2015 гг. Роторы были предоставлены финской компанией Norsepower и имеют высоту 18 м и диаметр 3 м. Они могут обеспечить 2 МВт дополнительной пропульсивной мощности каждый.

Вымпельный ветер – это истинный ветер, добавленный к относительному ветру, который зависит от скорости судна относительно земли. Это соотношение оказывает большое влияние на выходную мощность всех ветровых движителей. Коэффициенты подъемной силы и сопротивления трудно получить, поскольку учреждения и компании, имеющие доступ к данным натурных экспериментов, очень неохотно ими делятся.

Математическая модель работы ротора Флеттнера основывается на пяти уравнениях, приведенных ниже [3]. Уравнения для подъемной силы и силы сопротивления имеют вид:

$$F_{\text{ПС}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_{\text{В}}^2 \cdot C_{\text{ПС}}, \quad (1)$$

$$F_{\text{СС}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_{\text{В}}^2 \cdot C_{\text{СС}}, \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;
 S – площадь ротора Флеттнера, м²;
 $v_{\text{В}}$ – скорость ветра, м/с;
 $C_{\text{ПС}}$ – коэффициент подъемной силы;
 $C_{\text{СС}}$ – коэффициент сопротивления.

Суммарная мощность от действия подъемной силы и силы сопротивления:

$$\sum P = (F_{\text{ПС}} + F_{\text{СС}}) \cdot v_{\text{С}}, \quad (3)$$

где $v_{\text{С}}$ – скорость судна, м/с.

Мощность, необходимая двигателю для вращения ротора:

$$P_{\text{ДВ}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_{\text{В}} \cdot C_{\text{М}} \cdot \alpha, \quad (4)$$

где $C_{\text{М}}$ – коэффициент импульса;

α – коэффициент завихрения.

Движущая сила, которую может создать ротор Флеттнера, равна:

$$P = \sum P - P_{\text{ДВ}}. \quad (5)$$

Из вышеизложенного следует:

1. Предложенная методика позволяет определить параметры ветроэнергетической установки с применением ротора Флеттнера.

2. Несмотря на перспективность развития данного направления и потенциальные возможности по сокращению выбросов, ветроэнергетические установки нельзя применять в качестве основного источника движения для транспортных судов.

3. Для их применения необходимо решить целый ряд чисто технических вопросов, а именно: обеспечить чистоту палубы, минимальный такелаж, решить вопросы, связанные с устойчивостью судна и ограничениями по численности экипажа, т. к. это может ограничивать потенциальную тягу, создаваемую ветроэнергетическим оборудованием.

Литература

1. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. Printed and published by the International Maritime Organization, London, January, 2016.

2. 2014 Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (eedi), as amended (resolution мепс.254 (67), as amended by resolution мепс. 261 (68)). https://wwwold.prs.pl/files/parent225/p103p_en.pdf.

3. *Jonas Sandell, Jonas Segerlind*. Ship propulsion using wind, batteries and diesel-electric machinery. Report no. SI-16/185 Department of Shipping and Marine Technology Chalmers University of Technology SE-412 96 Gothenburg Sweden. 126 p.

УДК 629.5.066

А.Н. Рак, К.Е. Миловацкий

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА МОРСКИХ СУДАХ РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Представленная работа посвящена вопросам, связанным с производством электрической энергии на морских судах. Несмотря на то, что основные методы по расчету и выбору оборудования для производства электрической энергии на морских судах очень хорошо разработаны, для судов рыбной промышленности они являются более специфичными. В работе применен статистический метод исследования.

Ключевые слова: производство, электрическая энергия, судно, рыбная промышленность.

A.N. Rak, K.E. Milovatskiy

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY ON FISHING SHIPS

The presented work is devoted to issues related to the production of electrical energy on ships. Despite the the basic methods for calculating and selecting equipment for the production of electrical energy on marine vessels are very well developed, they are more specific for vessels of the fishing industry. The statistical research method is used in the work.

Key words: production, electric energy, ship, fishing industry.

Вопросы производства и обеспечения электрической энергией предприятий являются актуальными и в наши дни. Не обошли они стороной и морскую отрасль. На морском флоте электрическая энергия производится в основном с помощью дизельных генераторов. При этом мощность судовых электростанций зависит от множества факторов: назначения судов, дедвейта судов, тоннажа перевозимого груза, мощности главных двигателей (ГД) и т. д. Если для различных типов морских судов именно транспортного флота мощность судовых электростанций зависит от мощности ГД и четко регламентируется руководящими документами Международной морской организации (ИМО) [1, 2], то на суда флота рыбной промышленности эти требования не распространяются. Но способы производства электрической энергии на них, а также методы расчета мощности электростанций и выбор оборудования ничем не отличаются от способов, применяемых на транспортном флоте. Кроме того, следует учитывать, что на ряде промысловых судов могут существовать установки, которые на транспортных судах вообще отсутствуют, например мощные рефрижераторные установки, конвейерные линии в цехах по переработке рыбной продукции и др. Поэтому актуальность данного исследования не вызывает сомнений.

Цель работы – показать особенности генерации электрической энергии на морских судах.

В работе использована информация из открытых источников. При анализе применен статистический метод оценки, который отличается большой наглядностью и хорошо разработанным математическим аппаратом.

Флот рыбной промышленности характеризуется большим разнообразием и типами судов, например, по назначению: добывающее, научно-исследовательские и учебные, обрабатывающие суда, приемно-транспортные. Все перечисленные типы судов в зависимости от габаритных размеров также можно разделить на крупные, большие, средние и малые суда.

Так, ввиду большого разнообразия и типов судов из [3] принята к рассмотрению информация о мощности главных двигателей и судовых электростанций только для крупных и больших добывающих судов.

На основании данных, приведенных в [3], с помощью программы Excel были получены зависимости рис. 1-3. Их анализ выполнялся с помощью встроенных функций самой программы.

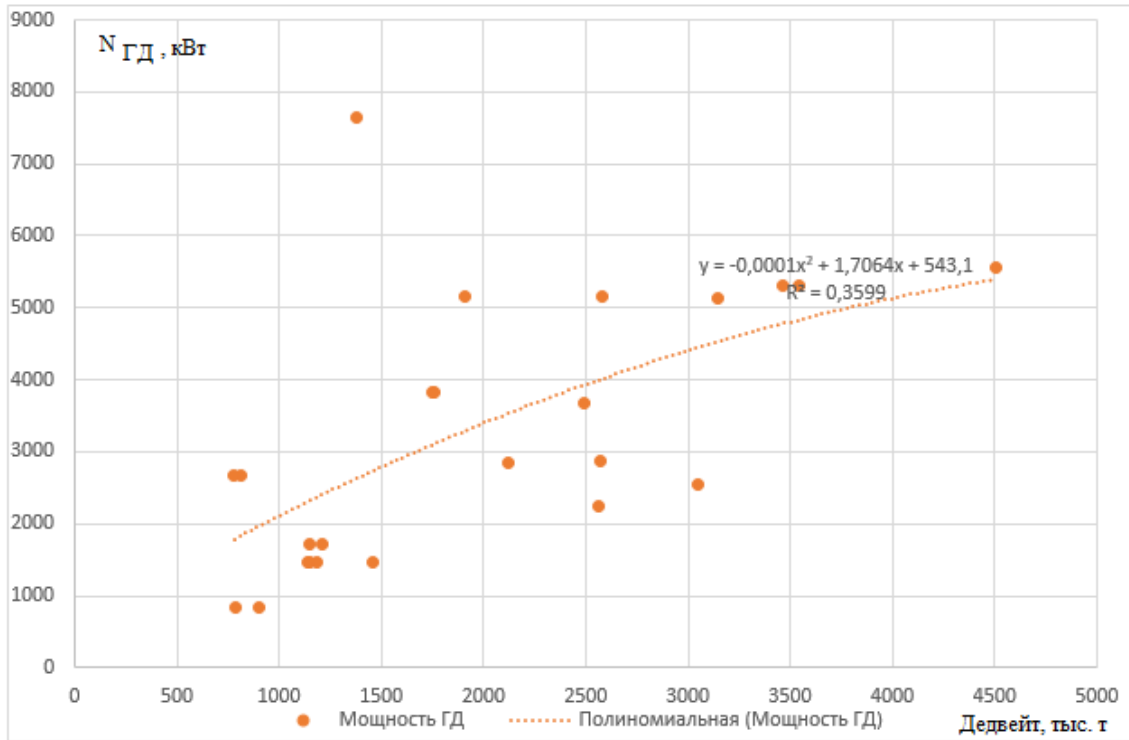


Рис. 1. Зависимость мощности главных двигателей от дедвейта

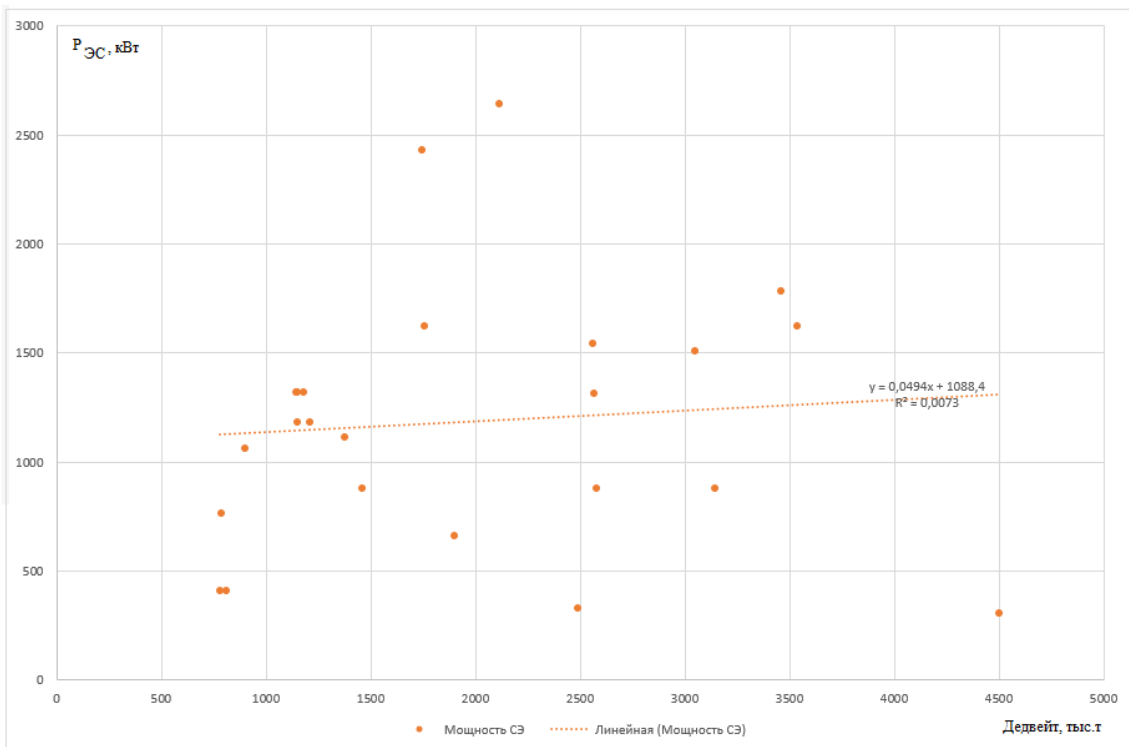


Рис. 2. Зависимость мощности судовых электростанций от дедвейта

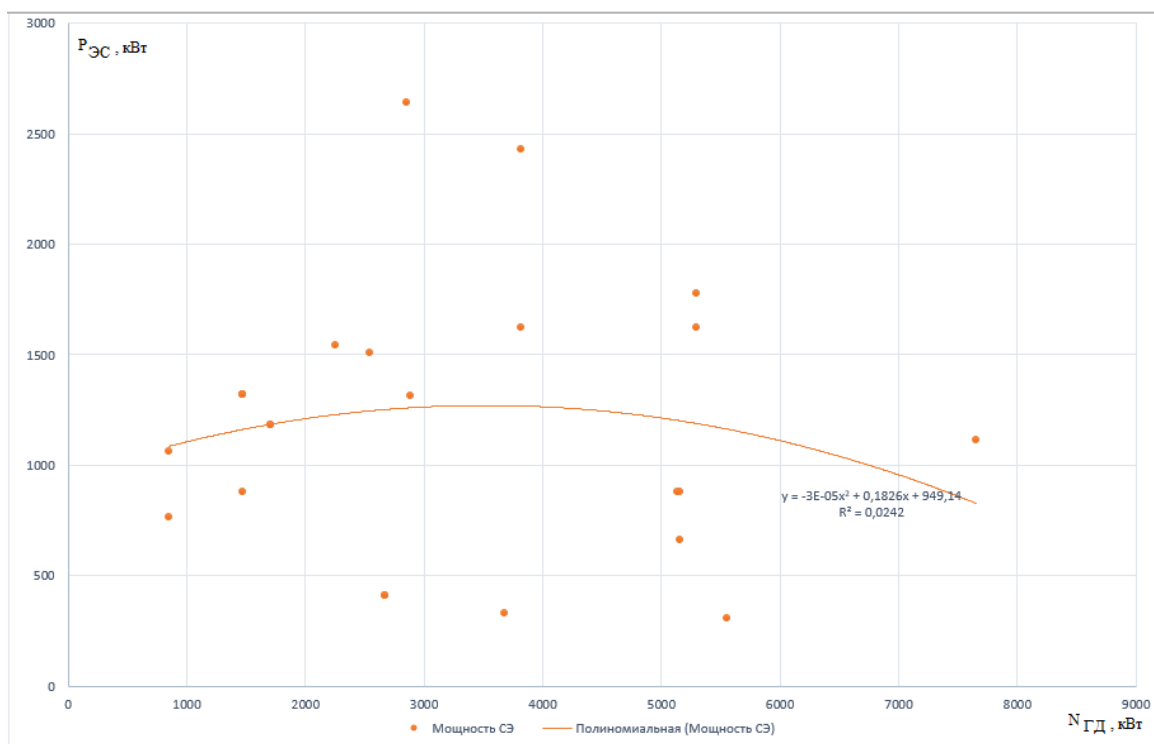


Рис. 3. Зависимость мощности судовых электростанций от мощности главных двигателей

Из вышеизложенного следует:

1. С увеличением дедвейта судов мощность главных двигателей и судовой электростанции увеличиваются, что является очевидным.
2. При увеличении мощности главных двигателей мощность судовых электростанций возрастает до 4 000–4 200 кВт, а после начинает несколько убывать. Это связано, вероятнее всего, с применением валогенераторных установок.

Литература

1. 2014 Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (EEDI), as amended (resolution мепс. 254 (67), as amended by resolution мепс. 261 (68)). – URL: https://wwwold.prs.pl/files/parent225/p103p_en.pdf
2. Annex 14 Resolution МЕРС/ 231 (65) Adopted on 17 May 2013. 2013 Guidelines for calculation of reference lines for use with the energy efficiency design index (EEDI). – URL: https://wwwold.prs.pl/files/parent225/p103p_en.pdf.
3. Флот рыбной промышленности. Справочник типовых судов / Отв. за вып. Н.Л. Триодин. – М.: Транспорт, 1990. – 384 с.

УДК 681.5.017:629.5.064.5

А.Н. Рак, А.А. Мхоян

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: agvan200323@gmail.com*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ БАТМ ТИПА «АНАТОЛИЙ ПОНОМАРЕВ»

Статья посвящена актуальной задаче проектирования гребных электрических установок для морских судов. В настоящее время существует множество различных методик как отечественных, так и зарубежных, которые позволяют определять мощность главного движителя на морских судах, но результаты расчетов при этом могут значительно отличаться. Работа носит методический характер и предназначена для решения задач, связанных с созданием энергоэффективных и экологических судовых двигательных установок с заданными регулировочными свойствами.

Ключевые слова: сопротивление, движение, судно, мощность, электрический движитель, число Фруда.

A.N. Rak, A.A. Mkhoyan

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: agvan200323@gmail.com*

PARAMETER DEFINITION FOR ROWING ELECTRIC INSTALLATION OF LARGE REFRIGERATOR TRAWLER “ANATOLY PONOMAREV”

The current task of designing electric propulsion plants for marine vessels is discussed. Currently, there are numerous different methods, both domestic and foreign, for determining the power of the main propulsion system on marine vessels; however, the results of these calculations can vary significantly. This work is methodological in nature and is intended to solve problems related to the creation of energy-efficient and environmentally friendly ship propulsion plants with specified control characteristics.

Key words: resistance, motion, vessel, power, electric propeller, Froude number.

Обеспечение движения является актуальной задачей. Для ее выполнения в зависимости от назначения, габаритных размеров и характера перевозимого груза применяются различные виды движителей: дизельные, паротурбинные, ветровые и электрические. В связи с тем что в последнее время к судовым движителям применяются достаточно жесткие требования, связанные с экологией, одним из перспективных направлений является применение электрических движителей. Хотя об их применении известно с 1837 г., но в полной мере оценить их достоинства мы можем только сейчас, поскольку современный уровень развития электротехнологий позволяет создать движительные установки необходимой мощности с заданными регулировочными свойствами.

Цель работы – разработка методики расчета дизель-электрической установки.

При исследовании рассматривались и проверялись соотношения, приведенные в открытых источниках.

Для расчета и выбора главного движителя необходимо знать основные размерения судна. Например, для большого автономного морозильного траулера (БАТМ) проекта 1288, типа Пулковский меридиан, основные размерения судна составляют: длина – 103,7 м; ширина – 16 м; высота борта – 7,4 м; осадка – 6,61 м; дедвейт – 1 904 т; скорость – 14,3 узлов; мощность главного двигателя: $2 \times 2\,580$ кВт

Мощность гребной электрической установки определяется в соответствии с выражением, приведенным в [1, 2]:

$$P_{дв} = k_c \cdot R \cdot V, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где k_c – коэффициент увеличения сопротивления движению судна. Для района Тихого океана $k_c = 1,25$;

R – сопротивление движению судна, Н;

v – скорость движения судна, м/с.

Анализ литературных источников показывает, что величина сопротивления движению судна зависит от числа Фруда (2):

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L_{вл}}}, \quad (2)$$

где $L_{вл}$ – длина судна по ватерлинии, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Сопротивление движению судна также зависит как от габаритных размеров судна, так и от степени его загрузки.

Таковыми величинами являются:

– относительная длина судна $\frac{L}{V^{\frac{1}{3}}}$;

– коэффициент остроты корпуса судна (3):

$$\psi = 10 \cdot C_B \cdot \frac{B}{L_{вл}}, \quad (3)$$

где B – ширина судна по мидель-шпангоуту, м;

C_B – коэффициент общей полноты корпуса судна.

Коэффициент общей полноты корпуса судна (4) зависит, в свою очередь, от объемного водоизмещения (5) [3]:

$$C_B = \frac{V}{L_{вл} \cdot B \cdot T}, \quad (4)$$

где T – осадка судна, м;

V – объемное водоизмещение, м³.

Объемное водоизмещение:

$$V = \frac{D_{wt} \cdot k_d}{\rho}, \quad (5)$$

где D_{wt} – дедвейт судна, т;

k_d – коэффициент дедвейта. В расчетах можно принять $k_d = 1,2$;

ρ – удельная плотность морской воды. В расчетах можно принять $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$.

Пользуясь диаграммой (рис. 1), представленной в [1] с учетом представленных выше соотношений и расчетов, определяем значение сопротивления движению судна:

$$\frac{L}{V^{\frac{1}{3}}} = 8.$$

Частота вращения винта в зависимости от диаметра винта и числа его лопастей определяется:

$$n_b = C \cdot \sqrt{\frac{P_{дв}}{D_b^5}}, \text{ об/мин}, \quad (6)$$

где C – постоянная винта для определенного количества лопастей;

D_b – диаметр винта двигателя, м. Его величиной можно задаться предварительно, пользуясь соотношением:

$$D_b = 0,7 \cdot T, \text{ м}. \quad (7)$$

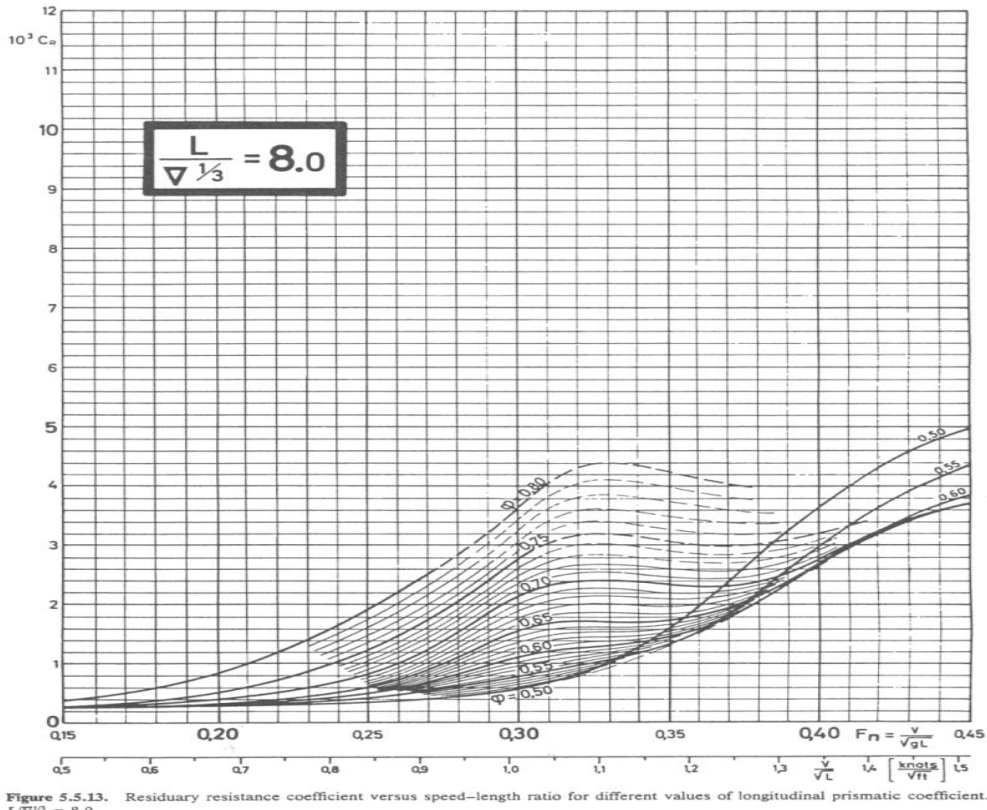


Рис. 1. Сопротивление движению судна для значения относительной длины

Момент, создаваемый винтом, определяется:

$$M_B = \rho \cdot k_M \cdot D_B^5 \cdot n_B^2, \quad (8)$$

где k_M – коэффициент момента.

Для каждого типа винта это значение является величиной, приведенной в паспорте на винт и выбивается на его ступице.

Задавшись частотой вращения приводного двигателя $n_{дв}$, можно определить момент, создаваемый приводным двигателем:

$$M_{дв} = \frac{9550 \cdot P_{дв}}{n_{дв}}, \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (9)$$

Передаточное отношение редуктора:

$$i = \frac{n_{дв}}{n_B}. \quad (10)$$

Определяем значение момента, создаваемого винтом при передаче вращательного движения от двигателя на винт через редуктор:

$$M_B = M_{дв} \cdot i, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (11)$$

Сравнивая значения, полученные в соответствии с (8) и (11), делаем вывод о возможности выбранного двигателя обеспечить заданную величину момента.

Исходя из сравнения, приходим к выводу, что для корректной работы потребуется два двигателя.

Таким образом, состав дизель-электрической установки будет иметь вид (рис. 2).



Рис. 2. Состав дизель-электрической установки

Для обеспечения гребного двигателя электрической энергией необходимо выбрать состав и количество дизель-генераторных установок. Их выбор и количество осуществляется с рекомендациями Международной морской организации (ИМО) для каждого из типов морских судов.

Мощность генератора определяется в соответствии с выражением:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}, \text{ кВА}, \quad (12)$$

где P – мощность приводного двигателя, кВт;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности генератора. Обычно для генераторов значение коэффициента мощности $\cos \varphi = 0,8$.

Тогда мощность приводного дизеля составит:

$$N_g = \frac{S}{\eta_{\text{ген}}}, \text{ кВт}, \quad (13)$$

где $\eta_{\text{ген}}$ – КПД генератора.

Из вышеизложенного следует:

1. В результате исследования разработана упрощенная методика расчета системы электродвижения БАТМ, для применения которой используются основные размерения судна.

2. Обоснована необходимость установки двух гребных электродвигателей, работающих на общий гребной вал через редуктор.

3. Определена мощность дизель-генераторной установки, обеспечивающей питание гребных электродвигателей.

Литература

1. Труднев С.Ю., Рак А.Н. Электрическое движение на морских судах [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – Текстовое (символьное) электронное издание. – Новокузнецк: Знание-М, 2022. – 350 с.

2. Рукавишников С.Б. Автоматизированные гребные электрические установки: Учебное пособие. – Л.: Судостроение, 1968. – С. 107–112.

3. Фукельман В.Л. Основы теории корабля // Учебник для судостроительных техникумов. – Л.: Судостроение 1977. – С. 43–89.

УДК 629.5.064.5

А.Н. Рак, А.Р. Павлов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ СУДОВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

В работе рассмотрены вопросы, связанные с применением фотоэлектрических станций на морских судах, направленные на повышение их энергоэффективности и на сокращение выбросов с морских судов в соответствии с требованиями международной конвенции. Несмотря на перспективность и экологичность данного направления, мощность таких электростанций может оказаться гораздо ниже, чем мощность традиционных конвенционных – дизельных. Поэтому предложены технические решения, которые позволят повысить их мощность.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, фотоэлектрическая станция, преобразователь, судно, энергоэффективность.

A.N. Rak, A.R. Pavlov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

INCREASING CAPACITY OF MARINE PHOTOVOLTAIC PLANTS

The paper considers issues related to the use of photovoltaic plants on ships, aimed at improving their energy efficiency and reducing emissions from ships in accordance with the requirements of the international convention. Despite the prospect and environmental friendliness the capacity of such power plants may be much lower than the capacity of traditional conventional diesel ones. Therefore, the technical solutions that will increase their capacity were proposed.

Key words: photovoltaic module, photovoltaic plant, converter, vessel, energy efficiency.

Техническая эксплуатация современных морских судов кроме вопросов надежности основного электроэнергетического оборудования и безопасности мореплавания тесно связана и с вопросами экологической безопасности, в частности выбросов с морских судов. Основные требования к выбросам с морских судов содержатся в руководящих документах Международной морской организации (ИМО), в которых излагаются основные подходы к реализации данных требований. Одним из таких подходов, позволяющих сократить выбросы с морских судов на 1–12%, является применение электростанций на основе солнечных панелей. Один из способов реализации подобных систем представлен на рис. 1.

При попадании света на поверхность возникает фото-ЭДС. Напряжение и ток необходимой величины при этом можно получить соответствующим соединением элементов, используя законы Кирхгофа. Такие системы, как правило, вырабатывают постоянный ток. Для большинства потребителей на судах требуется переменный ток. Преобразование постоянного тока в переменный осуществляется с помощью специальных устройств инверторов.

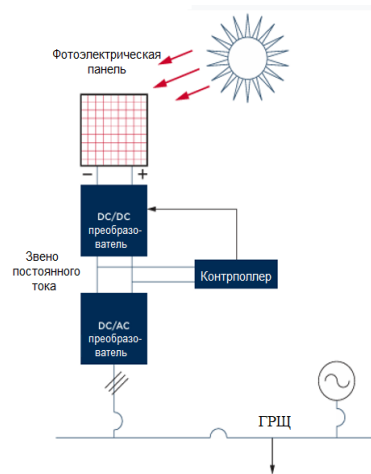


Рис. 1. Получение электрической энергии с помощью солнечных панелей

Как показывает анализ литературных источников, мощность таких электростанций относительно небольшая по сравнению с конвенционными дизель-генераторными электростанциями, преобразовательные установки также отличаются повышенной сложностью, относительно высокой стоимостью и требуют высокого уровня квалификации специалистов, эксплуатирующих такие системы. Но при всем этом применение таких систем при условии прохождения верификации позволит существенно сократить портовые сборы в целом ряде морских портов Западной Европы, США и особенно в Скандинавии.

Таким образом, данная тема является весьма актуальной.

Цель работы – раскрыть возможности фотоэлектрических станций и показать направления их дальнейшего развития.

В работе использованы материалы из открытых источников, приведенные в рекомендациях Международной морской организации (ИМО).

Солнечные панели отличаются большим разнообразием и отличаются по внешнему виду (рис. 2), массогабаритным показателям и техническим характеристикам.

Технические характеристики солнечных панелей представлены в таблице.

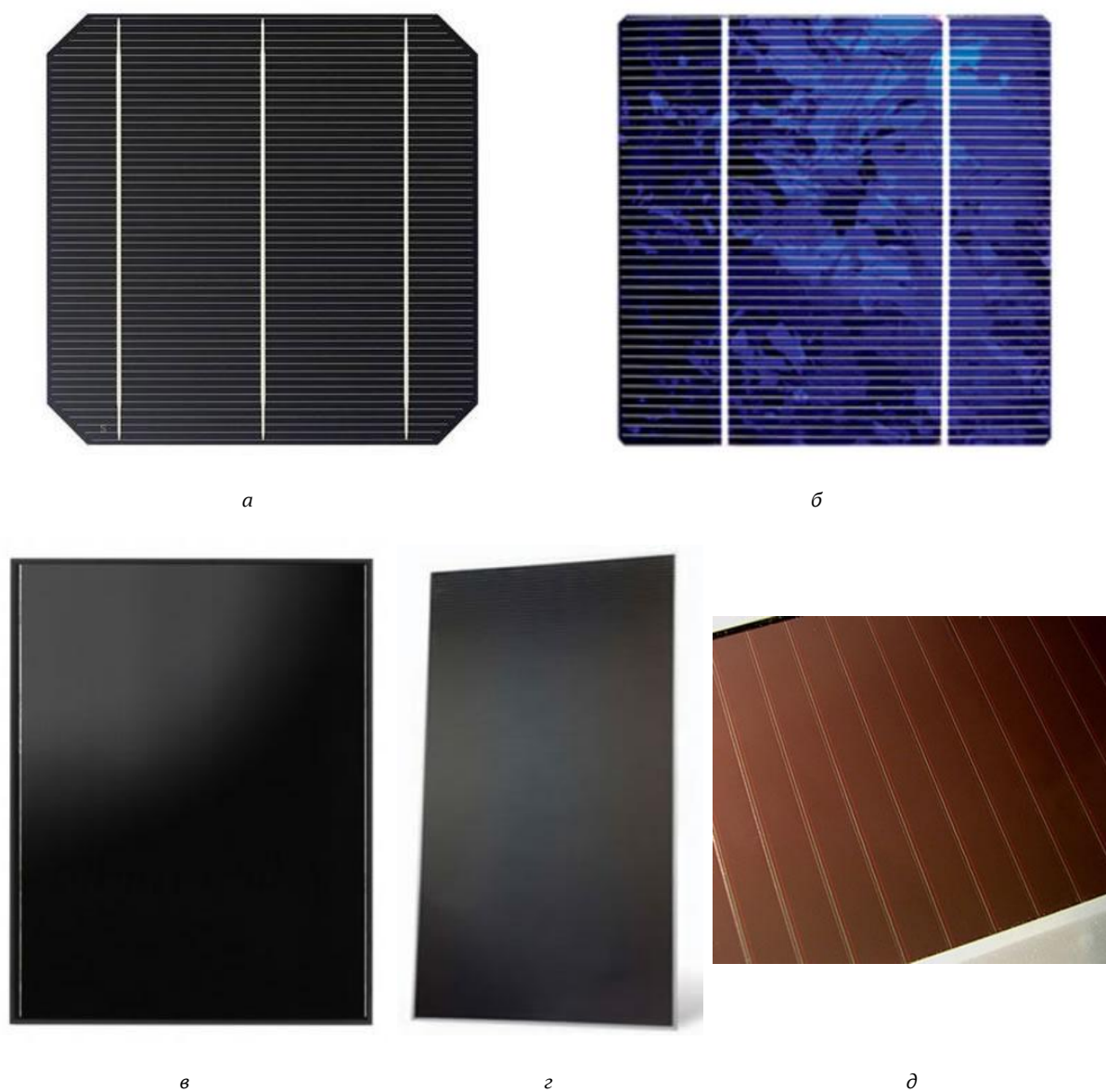


Рис. 2. Солнечные панели: монокристаллические (а); поликристаллические (б); CIS-технология (в); на основе теллурида кадмия (г); на основе аморфного кремния (д)

Технические характеристики солнечных панелей

Тип ФЭ	КПД, %	Цвет	Внешний вид
Кристаллические Монокристаллические	15-18	от темно-синего до черного с антиотражающим покрытием или серый без покрытия	однородный
Поликристаллические	13-16	синий с антиотражающим покрытием, серебристо-серый без покрытия	блок кристаллов разного направ- ления, некоторые кристаллы чет- ко видны на срезе
Тонкопленочные CIS-технология	9-11	от темно-серого до черного	однородный
ФЭ на основе теллурида кадмия	8,5	от зеркального темно-зеленого до черного	однородный
ФЭ на основе аморфного кремния	5-7	от коричневого до синего или фиолетового	однородный

Мощность ФЭС в соответствии с рекомендациями ИМО [1, 2] можно определить:

$$P_{\text{ФЭС}} = P_{\text{н}} \cdot \left(1 - \frac{\Sigma P}{100}\right) \cdot \frac{n}{\eta_{\Gamma}}, \text{ кВт},$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность модуля, кВт;

ΣP – сумма потерь в элементах системы, %;

n – количество модулей, используемых в системе;

η_{Γ} – КПД генератора.

Приведем несколько примеров успешного применения солнечной энергии: Auriga Leader: гибридный автовоз, на котором солнечная энергия обеспечивает 0,05% тяговой мощности и 1% потребляемой электроэнергии; Emerald Ace – автовоз с электростанцией на основе солнечных панелей и литий-ионными аккумуляторами емкостью 2,2 МВт·ч. Такая технология позволяет полностью обеспечить автономное электроснабжение в порту при постановке под грузовые операции.

Кроме вопросов чисто технической направленности для подобных систем имеют вопросы, связанные с ограничением влияния морской среды на светотехническое оборудование, например, отложения морской соли, влажность, коррозия, ограничение светового потока и др.

Недостаточное пространство на палубе для размещения солнечных панелей на большинстве судов ограничивает потенциальную суммарную выходную мощность (в среднем ~150 Вт/м²), даже с учетом последних достижений технологии. Возможные способы увеличения площади установки таких элементов представлены на рис. 3 и 4 соответственно.



Рис. 3. Установка фотоэлектрических модулей на крышках трюмов



Рис. 4. Установка фотоэлектрических модулей на вынесенных консолях

Из вышеизложенного следует:

1. Благодаря использованию солнечной энергии потребление обычного топлива сократится, в целом соразмерно объему электроэнергии, вырабатываемой фотоэлектрическими системами. При использовании современных солнечных технологий можно ожидать, что основная часть сокращения выбросов CO_2 будет обусловлена снижением расхода топлива во время стоянок в порту, хотя меньшая доля может быть получена при транзите.

2. Соответствие данной технологии требованиям, установленным ИМО, будет зависеть от таких факторов, как дедвейт судов, установленная мощность фотоэлектрических систем, режимы работы и т. д. Также необходимо будет учитывать массу, добавляемую новыми солнечными системами, включая структурные изменения.

3. Потенциальное влияние дополнительной массы солнечных панелей и опорной конструкции на устойчивость судна необходимо учитывать на этапах проектирования, особенно для судов малого размера. Также могут потребоваться изменения для обеспечения постоянной эффективности работы двигательных установок.

Литература

1. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. Printed and published by the International Maritime Organization, London, January, 2016.

2. 2014 Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (EEDI), as amended (resolution mepc. 254 (67), as amended by resolution mepc. 261 (68)). – URL: [https://www.imo.org/Files/2014/02/2014%20Guidelines%20on%20survey%20and%20certification%20of%20the%20energy%20efficiency%20design%20index%20\(EEDI\),%20as%20amended%20\(resolution%20mepc.%20254%20\(67\),%20as%20amended%20by%20resolution%20mepc.%20261%20\(68\)\).pdf](https://www.imo.org/Files/2014/02/2014%20Guidelines%20on%20survey%20and%20certification%20of%20the%20energy%20efficiency%20design%20index%20(EEDI),%20as%20amended%20(resolution%20mepc.%20254%20(67),%20as%20amended%20by%20resolution%20mepc.%20261%20(68)).pdf).

УДК 621.86

А.О. Рогожников

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: aleksei17_90@mail.ru*

ПРОЕКТ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ИМИТАЦИИ ГРУЗОВОЙ ЛЕБЕДКИ НА ОСНОВЕ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Разработка учебно-лабораторного стенда для имитации работы судовой грузовой лебедки на основе шагового двигателя P\N 127K41170 (23KM K207 G1V) предназначена для студентов, обучающихся по специальности «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». Стенд позволит изучить принципы построения систем управления шаговыми приводами, отработать алгоритмы точного позиционирования, управления скоростью и моментом, а также исследовать режимы работы в системах автоматизации грузоподъемных механизмов. Для кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов» внедрение данного стенда позволит расширить учебную программу по современным системам автоматизации, повысив компетенции будущих специалистов в области прецизионного электропривода.

Ключевые слова: грузовая лебедка, шаговый двигатель, драйвер шагового двигателя, микропозиционирование, система управления, учебный стенд, имитация.

A.O. Rogozhnikov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: aleksei17_90@mail.ru*

PROJECT OF TRAINING LABORATORY STAND FOR CARGO WINCH SIMULATION BASED ON STEPPER MOTOR

The development of training laboratory stand for simulating the operation of a ship cargo winch based on the P\N 127K41170 (23KM K207 G1V) stepper motor is intended for students studying the specialty "Operation of ship electrical equipment and automation means". The stand will allow students to study the principles of constructing stepper motor control systems, practice algorithms for precise positioning, speed and torque control and to investigate operating modes in automation systems for lifting mechanisms. The implementation of this stand will expand the curriculum on modern automation systems, improving the competencies of future specialists in the field of precision electric drive.

Key words: cargo winch, stepper motor, stepper motor driver, micropositioning, control system, training stand, simulation.

Современные системы автоматизации судовых грузоподъемных механизмов все чаще требуют применения точного позиционирования и управления скоростью [1–6]. Подготовка специалистов, способных работать с такими системами, требует учебного оборудования, демонстрирующего принципы прецизионного электропривода. Разрабатываемый стенд решает эту задачу за счет создания функционального имитатора на основе шагового двигателя P\N 127K41170 (23KM K207 G1V). Стенд выполняется в настольном исполнении. На рис. 1 представлена структурная схема макета стенда.

При проектировании стенда было выбрано настольное исполнение, так как используемое оборудование является малогабаритным. Основу стенда составляет шаговый двигатель 23KM-K207-G1V (1) с драйвером DM556 (или DRV8825) (2) и микроконтроллером Arduino Uno (3). В качестве механической части используется редуктор с передаточным отношением 10 : 1 и барабан диаметром 50 мм. Блок управления (БУ) включает в себя плату Arduino с установленным программным обеспечением для генерации управляющих сигналов STEP/DIR. Блок исполне-

ния (БИ) представляет собой шаговый двигатель с редуктором и барабаном. Блок датчиков (БД) включает концевой выключатель для ограничения хода и может быть дополнен датчиком тока (например, ACS712) для реализации системы защиты. Блок питания (БП) обеспечивает напряжение 12 В постоянного тока (4).

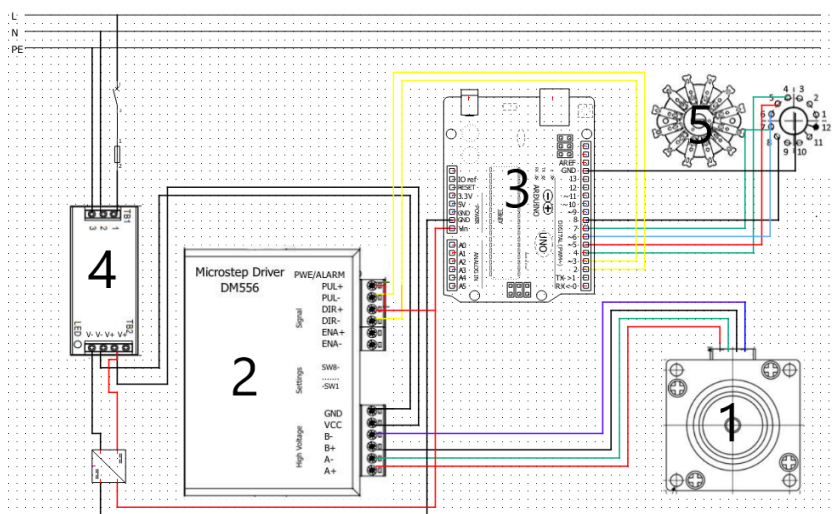


Рис. 1. Структурная схема макета стенда имитации грузовой лебедки

Питание стенда осуществляется от сетевого адаптера 220 В / 12 В (4). Коммутация осуществляется через автоматический выключатель. Программа управления осуществляется через драйвер шагового двигателя «DRV8825», который получает сигналы направления (DIR), шага (STEP) и включения (ENABLE) от блока управления. В качестве блока управления используется программируемый логический контроллер «Arduino Uno» (программируемый на C++), что позволяет реализовывать сложные алгоритмы управления. Управление реализовано посредством галетного переключателя (5).

На рис. 2 показано рабочее место оператора стенда, за которым выполняются испытания и лабораторные работы с механической частью лебедки, электрической частью и датчиками. Комплекс позволяет моделировать различные рабочие режимы лебедки, такие как подъем груза, изменение крутящего момента, потребляемого тока, торможение и аварийные ситуации. Программная реализация позволяет задавать сложные профили движения, имитирующие реальные рабочие циклы грузовой лебедки.



Рис. 2. Рабочее место оператора стенда

На базе стенда планируется проведение цикла лабораторных работ, включающих:

1. *Исследование статических характеристик шагового двигателя 23KM-K207-G1V*

Цель работы: экспериментальное определение статических параметров шагового двигателя и снятие механической характеристики.

Теоретическая часть. Шаговый двигатель 23KM-K207-G1V представляет собой двухфазный гибридный двигатель с углом шага 1,8° (200 шагов/оборот). Статические характеристики включают: сопротивление обмоток; индуктивность обмоток; удерживающий момент; угловая жесткость.

Методика выполнения:

1. Подготовка измерительной схемы: установить двигатель на испытательном стенде; подключить обмотки двигателя к драйверу DM556; подключить драйвер к Arduino Uno; подключить блок питания 12 В.

2. Измерение параметров обмоток: измерить сопротивление каждой обмотки мультиметром DT-830; отключить питание; установить режим измерения сопротивления; подключить щупы к выводам обмотки; записать значение для фазы А и фазы В; рассчитать индуктивность по формуле:

$$L = \frac{(t \cdot R)}{\ln\left(\frac{U_0}{U_t}\right)},$$

где $t = 0,1$ с,

R – измеренное сопротивление,

$U_0 = 12$ В,

$U_t = 4,4$ В.

3. Определение статического момента: установить на валу двигателя рычаг длиной 100 мм; подвешивать грузы массой от 0,1 до 1 кг с шагом 0,1 кг; фиксировать значение массы, при котором происходит срыв шага; рассчитать момент по формуле: $M = m \times g \times l$.

4. Построение характеристики: заполнить таблицу измерений.

Таблица измерений

Масса, кг	Длина рычага, м	Момент, Н·м	Состояние
0,1	0,1	0,098	устойчивое

Оборудование: шаговый двигатель 23KM-K207-G1V; драйвер DM556; Arduino Uno с ПО; мультиметр DT-830; набор грузов 0,1–1 кг; штангенциркуль ШЦ-1; рычаг измерительный.

2. *Исследование систем управления шаговым двигателем на базе драйвера DM556 и микроконтроллера Arduino*

Цель работы:

1. Ознакомиться с принципом действия и основными режимами работы гибридного шагового двигателя.

2. Практически освоить методы управления шаговым двигателем с использованием специализированного драйвера.

3. Исследовать статические и динамические характеристики привода.

Оборудование и программное обеспечение: плата микроконтроллера Arduino Uno/Nano; шаговый двигатель 23KM-K207-G1V; драйвер шагового двигателя A4988; блок питания 12 В; соединительные провода; персональный компьютер со средой разработки Arduino IDE.

Схема экспериментального стенда: драйвер DM556; VMOT: к +12V от блока питания; GND: к GND от блока питания и к GND Arduino; VDD: к 5V Arduino; STEP: к цифровому пину 3 Arduino; DIR: к цифровому пину 2 Arduino; контакты двигателя подключаются к клеммам 1А, 1В, 2А, 2В.

Важно: Установить токовый ограничитель на драйвере с помощью потенциометра согласно даташиту двигателя.

Задания и порядок выполнения

Задание 1: Базовое управление. Реверс.

Цель: научиться задавать направление вращения и количество шагов.

1. Соберите схему согласно описанию выше.
2. Загрузите в Arduino следующий код:

```
// Определение пинов
#define STEP_PIN 3
#define DIR_PIN 2
void setup() {
  pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
  pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(DIR_PIN, HIGH); // Устанавливаем направление (HIGH - вперед, LOW - назад)
}
void loop() {
  // Один шаг = один импульс
  digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(100); // Пауза для стабилизации сигнала
  digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
  delayMicroseconds(100); // Пауза определяет скорость!
  // Задержка между шагами - 10 мс
  delay(10);
}
```

3. Запустите программу. Двигатель должен медленно вращаться. Измените значение DIR_PIN на LOW и убедитесь, что двигатель сменил направление.

Задание 2: Исследование зависимости скорости от частоты импульсов.

Цель: понять связь между частотой сигнала на пине STEP и скоростью вращения вала.

1. Модифицируйте код, убрав медленный delay(10) и оставив только delayMicroseconds() для управления скоростью.

2. Создайте переменную int stepDelay = 1000; (задержка в микросекундах).

3. В цикле loop используйте:

```
cpp
digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
delayMicroseconds(stepDelay);
```

4. Поэкспериментируйте со значениями stepDelay (например, 5000, 2000, 1000, 500). Опишите наблюдения: как меняется скорость и плавность вращения?

Задание 3: Реализация плавного разгона и торможения.

Цель: освоить метод управления, предотвращающий проскальзывание на старте и резкие остановки.

1. Замените код в loop на следующий:

```
cpp
void loop() {
  // Плавный разгон
  for (int i = 1000; i > 200; i -= 50) {
    makeStep(i);
  }
  // Работа на постоянной скорости
  for (int j = 0; j < 500; j++) {
    makeStep(200);
  }
  // Плавное торможение
  for (int k = 200; k < 1000; k += 50) {
    makeStep(k);
  }
  delay(1000); // Пауза перед повторением цикла
}
```

```
// Вспомогательная функция для совершения одного шага с заданной задержкой
void makeStep(int d) {
    digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(d);
}
```

2. Запустите программу и наблюдайте за поведением двигателя. Сравните с режимом стартом/стопом из Задания 1.

3. Определение энергетических характеристик системы лебедки

Цель работы: расчет и экспериментальная проверка энергетических показателей системы.

Методика выполнения:

1. Измерение электрической мощности: подключить ваттметр в цепь питания двигателя; измерить напряжение и ток при разных нагрузках; рассчитать потребляемую мощность: $P_{эл} = U \times I$.

2. Определение механической мощности: поднимать грузы массой 1–10 кг на высоту 0,5 м; засекайте время подъема секундомером; рассчитать механическую мощность: $P_{мех} = (m \times g \times h) / t$.

3. Расчет КПД системы: вычислить КПД для каждой нагрузки: $\eta = (P_{мех} / P_{эл}) \times 100\%$; построить график зависимости КПД от нагрузки

Оборудование: ваттметр ЦЭ-6801; секундомер ЭЧ-20; набор грузов 1–10 кг; линейка изм.

Получаемые при работе со стендом навыки программирования микроконтроллеров, настройки электроприводов и понимания механических передач позволят будущим специалистам более грамотно эксплуатировать судовое электрооборудование и системы автоматики [7–10]. Разработанный лабораторный стенд обладает значительным потенциалом для модернизации и расширения функциональных возможностей. В перспективе предполагается оснащение системы дополнительными датчиками контроля параметров работы – датчиками усилия, энкодерами обратной связи по положению, системами температурного мониторинга двигателя и драйвера [11–14]. Это позволит расширить перечень лабораторных работ и углубить исследования в области автоматизированного электропривода.

Литература

1. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. – М.: Техносфера, 2018. – 342 с.
2. Руководство по эксплуатации драйвера DM556. – OWEN [Электронный ресурс]. – URL: <https://owen.ru/manuals> (дата обращения: 12.09.2025).
3. Голубцов Н.В., Сахаров А.П., Гладков А.В. Опыт применения информационных технологий в преподавании электроматериаловедения // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 4. – С. 155–159.
4. Optimization of a variable frequency drive pump working on a water tower / N.V. Hruntovich, A.A. Karanski, D. Baczynski et al. // E3S Web of Conferences: 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan. Vol. 124. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 05060. – DOI 10.1051/e3sconf/201912405060.
5. Голубцов Н.В. Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров / Н.В. Голубцов // Экономическое возрождение России. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.
6. Федоров О.В., Дарьенков А.Б. Энергосберегающая политика: Монография. – М.: Компания КноРус 2015. – 294 с. – ISBN 978-5-406-04282-3.
7. Arduino Programming Reference Manual // Arduino CC. – 2023. – URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/> (дата обращения: 12.09.2025).
8. ГОСТ Р 51522-99. Электроприводы. Общие требования к методам испытаний. – М.: Стандартинформ, 1999. – 12 с.
9. Васильев А.П. Шаговые двигатели в системах автоматизации. – М.: Машиностроение, 2020. – 256 с.
10. Николаев С.П. Точные системы позиционирования в промышленной автоматике. – М.: Техносфера, 2022. – 267 с.

11. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / *А.В. Синюков, Т.В. Синюкова, Е.И. Грачева и др.* // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87–98.

12. *Федоров О.В., Кузнецов Н.М.* Альтернативные источники энергии для удаленных потребителей // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6(123). – С. 141–144.

13. *Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V.* The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – Art. № 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.

14. *Голубцов Н.В., Федоров О.В.* Эффективное управление пусконаладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11–22.

УДК 681.5.017:621.313.333

А.О. Рогожников, А.М. Коноваленко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: aleksei17_90@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В статье рассмотрены вопросы модернизации и исследования тепловых характеристик судового асинхронного электропривода в различных режимах работы. Представлены теоретические основы тепловых процессов и их влияние на надежность и эффективность эксплуатации судовых механизмов. Описана разработка и применение учебно-лабораторного стенда на базе программируемого логического контроллера и модуля сбора данных, позволяющего моделировать тепловые процессы и регистрировать параметры нагрева в реальном времени. Проведены экспериментальные исследования тепловых процессов в продолжительном (*S1*) и кратковременном (*S2*) режимах работы при вариативной и номинальной нагрузке. Показано, что продолжительный режим характеризуется стабилизацией температуры в диапазоне 55–65°C, тогда как кратковременный режим при увеличении времени работы постепенно приближается к *S1*. Полученные данные могут быть использованы при проектировании систем тепловой защиты, разработке методов диагностики и в образовательной практике для подготовки специалистов судового профиля.

Ключевые слова: судовой электропривод, асинхронный двигатель, тепловые процессы, режимы работы (*S1*, *S2*), лабораторный стенд, тепловая защита, эффективность, надежность, подготовка специалистов.

A.O. Rogozhnikov, A.M. Konovalenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: aleksei17_90@mail.ru*

INVESTIGATION OF THERMAL CHARACTERISTICS OF MARINE ELECTRIC DRIVE

The issues of modernization and research of thermal characteristics of marine asynchronous electric drive in various modes of operation are considered. The theoretical foundations of thermal processes and their impact on the reliability and efficiency of ship machinery operation are presented. The development and application of training and laboratory stand based on a programmable logic controller and data acquisition module that allows simulating thermal processes and recording heating parameters in real time is described. Experimental studies of thermal processes in long-term (*S1*) and short-term (*S2*) operating modes at variable and nominal loads have been carried out. It is shown that the long-term mode is characterized by temperature stabilization in the range of 55–65°C, while the short-term mode gradually approaches *S1* with increasing operating time. The data obtained can be used in the design of thermal protection systems, the development of diagnostic methods and in educational practice for training of shipboard specialists.

Key words: marine electric drive, asynchronous motor, thermal processes, operating modes (*S1*, *S2*), laboratory bench, thermal protection, efficiency, reliability, training of specialists.

Современное судовое машиностроение и электроэнергетика предъявляют все более высокие требования к надежности и эффективности эксплуатации электрических установок [1, 2]. Асинхронные электроприводы, являясь основным источником механической мощности для судовых механизмов, обеспечивают работу различных систем – от насосного и компрессорного оборудования до механизмов управления и транспортировки [3–5]. Для обучения судовых специалистов все более широкое применение находят учебные стенды, позволяющие моделировать реальные процессы работы электроприводов. В КамчатГТУ были разработаны и апробированы лабораторные установки, обеспечивающие регистрацию температуры в различных точках электродвигателя с помощью термопар, транзистеров и модулей сбора данных. Примером служит лабора-

торный стенд на основе ПЛК ОВЕН ПР-205 и модуля МСД-200. Система позволяет архивировать данные о температуре в реальном времени, отображать их на дисплее и проводить последующую обработку на ПК. Объектом исследования выступал трехфазный асинхронный двигатель Ariston CIM2/55-132/AD4 мощностью 600 Вт и частотой вращения до 17 500 об/мин.

В стенде также присутствует мини-ПК, на котором можно просматривать архивированные значения температуры, собранные МСД-200, и по необходимости настраивать работу ПР-205 и МСД-200 через специальные приложения. Для удобства выполнения опытов понадобится разделить рабочее место на две области. В первой будет находиться сам стенд, исследуемый электропривод и устройство для вывода экрана компьютера. Во второй будет осуществляться программирование ПР-205 в среде OWEN logic и работа с показаниями термодатчиков. Такое разделение рабочего места послужит эффективной работе со стендом. После получения указаний по выполнению лабораторной работы оператор сможет подготовить необходимое оборудование в первой области, а затем начать сбор и обработку данных с датчиков. Объектом измерения станет коллекторный узел и обмотка статора электропривода. На рис. 1 показан электропривод лабораторного стенда.

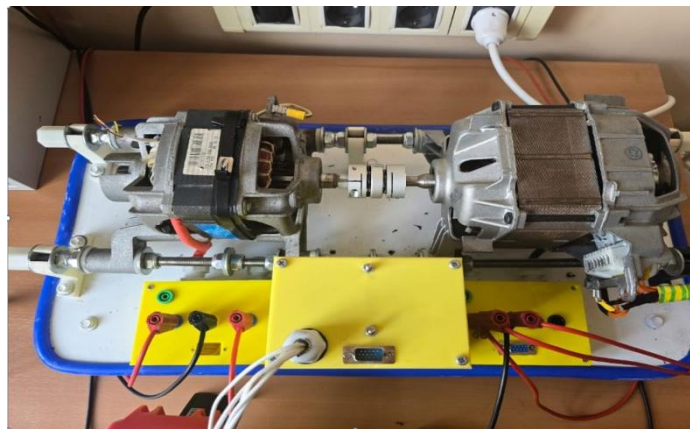


Рис. 1. Электропривод лабораторного стенда

Подобные стенды позволяют воспроизводить режимы пуска, реверса, торможения, а также моделировать тепловую защиту. При этом обеспечивается не только учебная, но и исследовательская ценность: появляется возможность тестировать алгоритмы защиты, изучать влияние различных нагрузок и условий охлаждения.

Исследования показали, что в продолжительном режиме (S1) электропривод достигает установившейся температуры через 1,5–2 часа в зависимости от нагрузки. При работе на холостом ходу установившаяся температура корпуса статора составила 63,7°C, а обмотки – 58,6°C; при нагрузке 50% – соответственно 60,7°C и 56,5°C; при номинальной нагрузке – 59,1°C и 55,9°C.

На рис. 2 представлены информационный дисплей с данными и оборудование для исследования тепловых процессов в статоре асинхронного электропривода в длительном режиме работы на холостом ходу.



Рис. 2. Процесс исследования тепловых процессов в статоре асинхронного электропривода

На рис. 3 представлены результаты исследования тепловых процессов в статоре асинхронного электропривода в длительном режиме работы на холостом ходу.

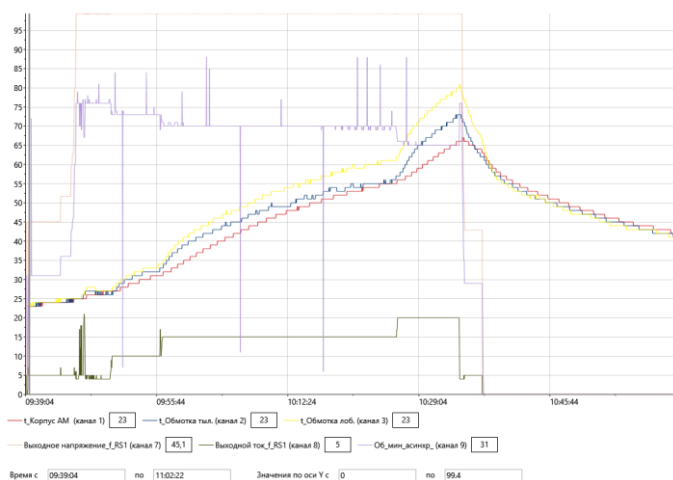


Рис. 3. Многоканальная запись параметров асинхронного электропривода

График показывает многоканальную запись параметров асинхронного электропривода в интервале времени с 09:39:04 до 11:02:22. Ось X – время, ось Y от 0 до ~100 в условных единицах; для температур это, судя по шкале и легенде, градусы °C, для электрических величин – относительные/процентные значения или вольты/амперы в пересчете к одной шкале (график сводный). В легенде указаны каналы: t_Корпус АМ (канал 1) – красная кривая; t_Обмотка тыл. (канал 2) – синяя кривая; t_Обмотка лоб. (канал 3) – желтая кривая; выходное напряжение_f_RS1 (канал 7) – фиолетовая «ступенчатая» кривая; выходной ток_f_RS1 (канал 8) – темно-зеленая кривая; об_мин_асинхр. (канал 9) – светло-лиловая/розовая кривая (уровень/установка минимальных оборотов). Исходное состояние (≈09:39–09:55).

Все температурные каналы стартуют с одинакового уровня около 23°C (в легенде фиксируются значения 23/23/23). Ток практически нулевой, лишь кратковременные импульсы до 5–15 усл. ед.; напряжение последовательно поднимается «ступенями» (фиолетовая линия), что соответствует включению питания/регулируемых уровней выпрямителя/частотника. Скоростной канал (светлая линия) быстро поднимается почти к верхней границе шкалы, затем удерживается высоким плато – это похоже на установленный/разрешенный диапазон оборотов.

Разгон и установившийся нагрев (≈09:55–10:25). С 09:55–09:57 начинается согласованный рост всех температур: сначала корпус (красная) остается чуть ниже, быстрее всего растет лобовая часть обмотки (желтая), промежуточно – тыловая обмотка (синяя). К 10:10 температуры расходятся: желтая уже около 50–55°C, синяя ≈48–50°C, красная ≈45°C. Рост носит ступенчатый характер и коррелирует с подъемом выходного напряжения: каждый шаг напряжения сопровождается плавным тепловым откликом с запаздыванием. Ток (темно-зеленая) остается небольшим, но видны отдельные рабочие участки по 10–20 усл. ед., что совпадает с активными фазами нагрева. К 10:20–10:25 желтая кривая выходит на ≈60–62°C, синяя ≈55–57°C, корпус ≈50–52°C. Температурный градиент «лобовая > тыловая > корпус» сохраняется на всем протяжении разгона.

Пиковая нагрузка (≈10:25–10:30) В 10:26–10:29 наблюдается наиболее интенсивная фаза: напряжение делает серию высоких «ступеней», ток также возрастает. Температуры достигают локальных максимумов: t_Обмотка лоб. (жёлтая) – около 78–80°C (наивысшее значение всех каналов); t_Обмотка тыл. (синяя) – ≈72–74°C; t_Корпус (красная) – ≈63–66°C.

Пик температур запаздывает на 1–3 мин относительно электрических воздействий (типичная тепловая инерция).

Снижение нагрузки и охлаждение (≈10:30–11:02). Сразу после пиков в районе 10:30 фиолетовая кривая (напряжение) резко падает до низкого уровня; ток тоже снижается. Температуры начинают убывать со сдвигом по времени: сначала замедляется рост (короткая «полка»), далее следует равномерное охлаждение. К 10:45–10:50 значения опускаются до ≈45–50°C для обмоток и ≈42–45°C для корпуса, а к завершению записи (≈11:02) – до ≈40–43°C (желтая немного выше

синей, корпус стабильно ниже). Охлаждение также нелинейно: вначале быстрее (высокий перепад температур и теплоотдача), затем темп снижается.

На рис. 4 представлены результаты исследования тепловых процессов в статоре асинхронного электропривода в длительном режиме работы отключения по времени.

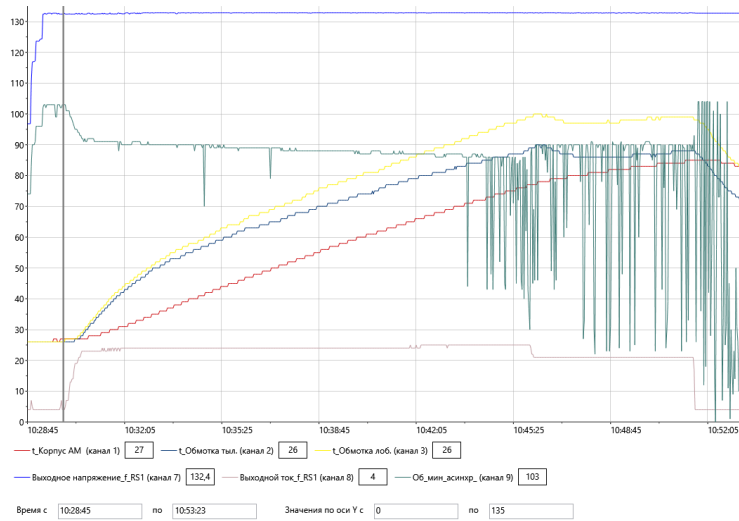


Рис. 4. Температурные кривые асинхронного электропривода в длительном режиме работы отключения по времени

Старт: все температуры $\sim 26\text{--}27^\circ\text{C}$. Напряжение быстро выводится на плато ≈ 132 (темно-синяя), уставка оборотов (Об_мин_асинхр., розовая) – до ≈ 103 . Ток (зеленая) сначала подскакивает до ~ 100 , затем держится $85\text{--}90$ с редкими провалами. Нагрев: быстрее всего растет лобовая обмотка (желтая) \rightarrow к $10:44\text{--}10:46$ достигает $\approx 98\text{--}100^\circ\text{C}$, затем легкая «полка»/небольшой спад до $95\text{--}97$. Тыловая обмотка (синяя) плавно до $\approx 88\text{--}90^\circ\text{C}$; корпус (красная) – до $\approx 78\text{--}82^\circ\text{C}$. Иерархия температур стабильна: лоб > тыл > корпус.

Участок $10:46\text{--}10:51$: заметны частые пульсации тока ($20\text{--}100$) при неизменном высоком напряжении; это похоже на колебания нагрузки/регулирование.

Снижение режима после $10:51$: уставка оборотов ступенчато падает, ток резко уменьшается; температуры начинают остывать – быстрее всего тыловая обмотка (синяя), затем лобовая и корпус.

На рис. 5 представлены результаты исследования тепловых процессов в статоре асинхронного электропривода в кратковременном режиме работы при номинальной нагрузке с продолжительностью периода включения 30 мин. Количество включений – два.

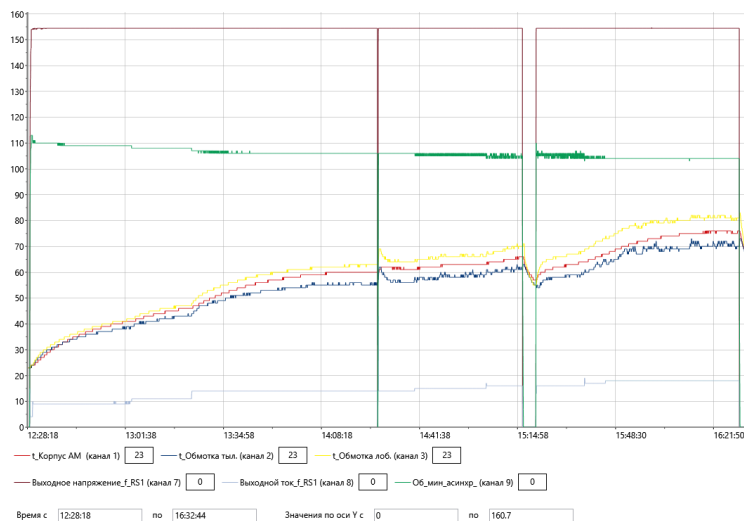


Рис. 5. Температурные кривые асинхронного электропривода в кратковременном режиме работы при номинальной нагрузке с продолжительностью периода включения 30 мин

Интервал 10:28:45–10:53:23. После пуска напряжение выходит на плато ~132, уставка оборотов ~103; ток сначала ~100, затем держится 85–90 с пульсациями. Температуры растут с 26–27°C: лобовая обмотка до ~98–100°C, тыловая до ~88–90°C, корпус до ~78–82°C. С 10:51 уставка/обороты снижаются, ток падает, начинается охлаждение (быстрее тыловой обмотки). Картина штатная: максимум тепла в лобовых частях, признаков перегрева нет.

Можно заключить, что при длительности работы свыше 60 мин кратковременный режим постепенно переходит в продолжительный.

Практическая значимость работы заключается в возможности разработки и отладки систем защиты, что способствует снижению аварийности и повышению безопасности эксплуатации судовых механизмов [6, 7]. Модернизация тепловых характеристик судовых электроприводов представляет собой комплексное направление, включающее как разработку и внедрение учебно-лабораторных стендов, так и проведение экспериментальных исследований тепловых процессов в различных режимах. Полученные данные могут быть использованы как в образовательной практике, так и в проектировании систем защиты и управления [8–10].

Литература

1. *Рябинин И.А., Парфенов Ю.М.* Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем. – СПб.: ВМА, 1997. – 430 с.
2. *Федоров О.В., Кузнецов Н.М.* Альтернативные источники энергии для удаленных потребителей // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6(123). – С. 141–144.
3. *Пантина А.И., Белов О.А.* Контроль технического состояния судовых асинхронных двигателей на основе характеристик внешнего электромагнитного поля // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2017. – Т. 13, № 1. – С. 32–36.
4. *Голубцов Н.В.* Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров / Н.В. Голубцов // Экономическое возрождение России. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.
5. *Федоров О.В., Дарьенков А.Б.* Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с.
6. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / *А.В. Синюков, Т.В. Синюкова, Е.И. Грачева и др.* // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87–98.
7. *Новицкий П.В., Зограф И.А.* Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 247 с.
8. *Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V.* The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.
9. *Голубцов Н.В., Федоров О.В.* Эффективное управление пуска наладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11–22.
10. *Грачева Е.И., Абдуллазянов Р.Э., Алимova А.Н.* Анализ и способы расчета потерь активной мощности и электроэнергии в низковольтных цеховых сетях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – № 4(40). – С. 53–65.

УДК 681.5.017:621.313.333

А.О. Рогожников, Р.А. Шунькин

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: aleksei17_90@mail.ru*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты модернизации тепловых характеристик судовых асинхронных электроприводов. Представлены основные источники тепловых потерь и их влияние на надежность работы оборудования. Проанализированы проблемы эксплуатации в условиях морского судоходства, такие как перегрев, снижение ресурса изоляции и недостаточная эффективность традиционных систем охлаждения. Рассмотрены современные методы модернизации, включающие внедрение жидкостного и комбинированного охлаждения, использование термостойких материалов, применение интеллектуальных систем мониторинга и оптимизацию конструктивных элементов двигателей. Показана практическая значимость модернизации, выражающаяся в повышении надежности, снижении эксплуатационных затрат, продлении срока службы оборудования и улучшении экологических показателей. Сделан вывод о стратегической необходимости совершенствования тепловых характеристик судовых электроприводов в целях повышения эффективности и безопасности современного судоходства.

Ключевые слова: судовой электропривод, асинхронный двигатель, тепловые процессы, модернизация, охлаждение, изоляция, надежность, энергоэффективность, интеллектуальные системы, безопасность судоходства.

A.O. Rogozhnikov, R.A. Shunkin

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: aleksei17_90@mail.ru*

MODERNIZATION OF THERMAL CHARACTERISTICS OF SHIP ELECTRIC DRIVE

The theoretical and practical aspects of upgrading the thermal performance of marine asynchronous electric drives are considered. The main sources of heat loss and their impact on equipment reliability are represented. Operational challenges in maritime environments, such as overheating, reduced insulation lifespan and the effectiveness of traditional cooling systems are analyzed. Modern modernization methods including the introduction of liquid and combined cooling, the use of heat-resistant materials, intelligent monitoring systems and the optimization of engine design components are discussed. The practical significance of modernization resulting in increased reliability, reduced operating costs, extended equipment service life and improved environmental performance is demonstrated. A conclusion regarding the strategic need to improve the thermal performance of marine electric drives to enhance the efficiency and safety of modern shipping is drawn.

Key words: marine electric drive, asynchronous motor, thermal processes, modernization, cooling, insulation, reliability, energy efficiency, intelligent systems, shipping safety.

Современное судоходство невозможно представить без надежных и эффективных электроприводов, обеспечивающих работу различных систем и механизмов на борту. От качества их функционирования во многом зависит безопасность судна, эффективность выполнения производственных задач и экономическая целесообразность эксплуатации флота [1]. Одной из ключевых проблем при эксплуатации электроприводов является нагрев обмоток и других элементов двигателя, который непосредственно влияет на долговечность и стабильность его работы. Перегрев вызывает снижение ресурса изоляции, повышенный износ деталей, увеличивает вероятность отказов и аварийных ситуаций, что особенно критично в условиях морского и речного судоходства, где возможность оперативного ремонта ограничена.

В последние десятилетия наблюдается тенденция к росту мощности судовых электроприводов и усложнению режимов их работы. Это связано с повышением автоматизации судовых процессов, внедрением новых энергетических установок и расширением спектра задач, возлагаемых на электрические машины [2]. В таких условиях традиционные системы охлаждения и методы контроля теплового состояния перестают обеспечивать необходимый уровень надежности. Поэтому модернизация тепловых характеристик судовых электроприводов становится важнейшей задачей, направленной на повышение их устойчивости к перегревам, оптимизацию тепловых процессов и внедрение новых инженерных решений в области охлаждения и диагностики [3].

Актуальность исследования в данной области определяется не только эксплуатационными факторами, но и экономическими. Снижение энергопотерь, уменьшение расходов на ремонт и продление срока службы оборудования напрямую отражаются на себестоимости судоходных операций [4]. Кроме того, соответствие международным требованиям по энергоэффективности и безопасности морского транспорта требует внедрения инновационных подходов в проектировании и эксплуатации судовых электроприводов.

Целью настоящей работы является анализ существующих проблем, связанных с тепловыми характеристиками судовых электроприводов, и рассмотрение современных направлений их модернизации. Для достижения цели необходимо решить ряд задач: исследовать теоретические основы тепловых процессов в электроприводах, выявить наиболее характерные эксплуатационные трудности, рассмотреть современные методы модернизации систем охлаждения и контроля температуры, а также оценить практическую значимость внедряемых решений.

Теоретические основы тепловых процессов в асинхронных электроприводах

Работа асинхронного электропривода сопровождается неизбежными тепловыми потерями, которые возникают в результате протекания электрического тока в обмотках, перемагничивания магнитопровода, а также трения подвижных элементов. Накопление тепла и процесс его рассеяния определяют тепловое состояние машины, от которого зависит надежность работы, срок службы изоляции и общая эффективность электропривода.

Основными источниками тепловыделения в асинхронных электродвигателях являются:

1. Медные потери в обмотках статора и ротора, обусловленные протеканием электрического тока:

$$P_{Cu} = I^2 \cdot R,$$

где I – ток в обмотке,

R – активное сопротивление проводника.

2. Стальные потери в магнитопроводе (гистерезисные и вихревые), зависящие от частоты и магнитной индукции:

$$P_{Fe} = k_h \cdot f \cdot B^2 + k_e \cdot f^2 \cdot B^2,$$

где f – частота переменного тока,

B – магнитная индукция,

k_h и k_e – коэффициенты потерь от гистерезиса и вихревых токов.

3. Механические потери – трение в подшипниках, вентиляционные потери.

Суммарные тепловые потери электродвигателя определяются выражением:

$$P_{\Sigma} = P_{Cu} + P_{Fe} + P_{мех}.$$

Это тепло должно быть рассеяно в окружающую среду, чтобы предотвратить перегрев двигателя.

Тепловое состояние двигателя описывается уравнением теплового баланса:

$$C \cdot \frac{d\theta}{dt} = P_{\Sigma} - \theta \cdot R_{th},$$

где C – тепловая емкость двигателя,

θ – превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды,

R_{th} – тепловое сопротивление между нагретыми частями двигателя и окружающей средой.

В установившемся режиме, когда $\frac{d\theta}{dt} = 0$, уравнение принимает вид:

$$\theta = P_{\Sigma} - \theta \cdot R_{th}.$$

Температура нагрева прямо пропорциональна суммарным потерям и тепловому сопротивлению конструкции двигателя.

Проблематика эксплуатации и необходимость модернизации

Особое значение в судовых электроприводах имеет кратковременный и повторно-кратковременный режимы работы, при которых тепловое состояние двигателя описывается функцией нарастания и спада температуры. В этих условиях температура изменяется по экспоненциальному закону [1]:

$$\theta(t) = \theta_{уст} \cdot (1 - e^{-t/T_{th}}),$$

где $\theta_{уст}$ – установившееся значение температуры,

$T_{th} = C \cdot R_{th}$ – тепловая постоянная времени двигателя.

При отключении двигателя процесс охлаждения также подчиняется экспоненциальному закону:

$$\theta(t) = \theta_0 \cdot e^{-t/T_{th}},$$

где θ_0 – начальное превышение температуры.

Анализ тепловых процессов позволяет определить критические режимы работы двигателя, рассчитать допустимые нагрузки и выбрать оптимальные параметры охлаждения. В условиях судоходства, где электроприводы подвержены переменным нагрузкам, влажности, вибрациям и ограниченным возможностям естественной вентиляции, учет этих зависимостей становится особенно важным. Теоретическая база тепловых процессов служит основой для разработки и внедрения современных методов модернизации, направленных на повышение надежности и долговечности судовых электроприводов [1, 4].

Эксплуатация судовых асинхронных электроприводов сопровождается рядом проблем, связанных с их тепловым состоянием. В условиях морского судоходства электрические машины работают в сложной среде: высокие колебания температур окружающего воздуха, повышенная влажность, вибрации и запыленность машинных отделений оказывают дополнительное воздействие на тепловые процессы. В результате повышается риск перегрева обмоток, ускоренного старения изоляции и выхода из строя силовых элементов. Одной из основных проблем является недостаточная эффективность традиционных систем охлаждения. Большинство судовых электродвигателей оборудованы вентиляционными каналами с воздушным охлаждением, однако в условиях ограниченного пространства и при высоких нагрузках такой способ отвода тепла оказывается малодейственным. Вентиляционные потери увеличиваются, но температура обмоток остается выше допустимого уровня [5, 6]. При этом изоляция проводников теряет свои свойства, что приводит к пробоям, межвитковым замыканиям и, как следствие, дорогостоящему ремонту или замене двигателя.

Указанные факторы обосновывают необходимость модернизации тепловых характеристик судовых электроприводов. Современные требования к надежности и энергоэффективности морского транспорта диктуют внедрение инновационных решений в области охлаждения, улучшения конструктивных элементов двигателей, применения новых материалов с повышенной теплопроводностью и устойчивостью к перегревам. Важным направлением становится внедрение интеллектуальных систем мониторинга, позволяющих в реальном времени контролировать тепловое состояние двигателя и корректировать режим его работы.

Модернизация тепловых характеристик судовых электроприводов представляет собой не только задачу повышения надежности и ресурса оборудования, но и стратегическую необходимость, направленную на обеспечение безопасного и экономически выгодного функционирования судовых энергетических систем в условиях современного судоходства.

Методы модернизации тепловых характеристик

Одним из наиболее перспективных методов является внедрение усовершенствованных систем охлаждения. Традиционные воздушные каналы дополняются комбинированными решениями: жидкостным охлаждением с использованием замкнутых контуров циркуляции или встроенных теплообменников. Такие системы позволяют более эффективно отводить тепло от наиболее нагруженных зон обмоток и магнитопроводов. Использование жидкостей с высокой теплоемкостью и теплопроводностью (например, диэлектрических охлаждающих жидкостей или специальных масел) обеспечивает значительное снижение температуры и продление срока службы изоляции.

Другим направлением модернизации является применение новых конструктивных материалов. В частности, разработка изоляционных материалов с повышенной термостойкостью (класс Н и выше, выдерживающих температуры до 180°C и выше) позволяет существенно повысить тепловую устойчивость обмоток. Кроме того, внедрение композитных материалов с низкими потерями и улучшенной теплопроводностью способствует снижению уровня локальных перегревов [7].

Широкое распространение получают методы активного теплового управления. Они предполагают внедрение интеллектуальных систем мониторинга и диагностики, оснащенных датчиками температуры, вибрации и электрических параметров. Такие системы позволяют в режиме реального времени контролировать тепловое состояние электропривода, выявлять аномальные зоны нагрева и предотвращать аварийные перегрузки. Важным элементом становится применение алгоритмов предиктивной аналитики и машинного обучения, которые позволяют прогнозировать развитие тепловых процессов и формировать рекомендации по изменению режима работы двигателя. Существенное значение имеет также оптимизация конструктивных элементов электродвигателя. Применение новых схем вентиляции, улучшенной геометрии охлаждающих каналов, увеличение площади поверхности теплоотдачи корпуса и интеграция дополнительных радиаторов позволяют более эффективно рассеивать избыточное тепло. На практике это выражается в снижении рабочей температуры на 10–20%, что напрямую отражается на надежности двигателя [7–9]. Отдельное направление связано с совершенствованием систем управления электроприводом. Использование частотно-регулируемых преобразователей позволяет оптимизировать рабочие режимы, снижая перегрузки и пусковые токи, что уменьшает тепловые потери в обмотках. Современные алгоритмы управления обеспечивают согласование нагрузки с тепловым состоянием двигателя, что особенно важно в судовых условиях, где характерны частые изменения нагрузки.

Методы модернизации тепловых характеристик судовых электроприводов включают технические решения (новые системы охлаждения, материалы, конструктивные изменения), внедрение интеллектуальных систем контроля и управления, а также совершенствование эксплуатационных подходов. Комплексное использование этих методов обеспечивает значительное повышение надежности, энергоэффективности и безопасности работы судовых энергетических установок, что отвечает современным требованиям международных стандартов судоходства [1].

Практическая значимость модернизации

Модернизация тепловых характеристик судовых электроприводов имеет большое практическое значение как для повышения надежности судовых энергетических систем, так и для оптимизации экономических показателей эксплуатации флота. В условиях морского транспорта, где доступ к техническому обслуживанию ограничен, а простои судна приводят к значительным финансовым потерям, обеспечение устойчивого теплового режима электродвигателей становится ключевым фактором их эффективного применения.

Прежде всего, модернизация позволяет увеличить срок службы изоляционных материалов и механических элементов электродвигателя. Снижение рабочих температур даже на 10–15°C способно продлить срок службы изоляции в два раза, что подтверждается данными международных исследований. Это приводит к уменьшению количества внеплановых ремонтов и снижению затрат на обслуживание. В условиях морского судоходства, где стоимость замены электродвигателя или его капитального ремонта крайне высока, данное преимущество имеет первостепенное значение.

Практическая значимость модернизации тепловых характеристик судовых электроприводов выражается в повышении надежности и безопасности работы оборудования, продлении срока

его службы, снижении эксплуатационных затрат и улучшении экологических показателей эксплуатации флота. Все это делает модернизацию стратегически важным направлением развития судового электромеханического оборудования.

Проведенный анализ показал, что тепловые процессы играют ключевую роль в обеспечении надежности и эффективности работы судовых асинхронных электроприводов. Перегрев обмоток и элементов конструкции приводит к ускоренному старению изоляции, снижению ресурса оборудования и увеличению вероятности аварийных ситуаций. В условиях морского судоходства, где электроприводы функционируют в сложной и агрессивной среде, проблема тепловых перегрузок приобретает особую актуальность.

Необходимость модернизации тепловых характеристик обусловлена не только эксплуатационными, но и экономическими и экологическими факторами. Снижение тепловых потерь позволяет повысить коэффициент полезного действия двигателей, сократить расход топлива и уменьшить количество выбросов, что соответствует международным требованиям в области энергоэффективности и охраны окружающей среды. Одновременно с этим улучшается надежность судовых систем и безопасность экипажа, а также значительно продлевается срок службы оборудования.

Таким образом, модернизация тепловых характеристик является стратегическим направлением развития судового электромеханического оборудования. Она обеспечивает повышение эксплуатационной надежности, снижение затрат на обслуживание и ремонт, повышение энергетической эффективности и соответствие современным международным стандартам. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой адаптивных систем управления тепловыми процессами, интеграцией цифровых технологий и использованием инновационных материалов, что позволит вывести эксплуатацию судовых электроприводов на новый уровень.

Литература

1. *Рябинин И.А., Парфенов Ю.М.* Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем. – СПб.: ВМА, 1997. – 430 с.
2. *Голубцов Н.В.* Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров // Экономическое возрождение России. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.
3. *Федоров О.В., Дарьенков А.Б.* Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с. – ISBN 978-5-406-04282-3.
4. *Федоров О.В., Кузнецов Н.М.* Альтернативные источники энергии для удаленных потребителей // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6(123). – С. 141–144.
5. *Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V.* The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.
6. *Труднев С.Ю., Юрьев Р.А., Марченко А.А.* Разработка устройства диагностики защитной аппаратуры судового электрооборудования на основе ионистора // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы Пятой всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2014. – С. 147–148.
7. *Осташевский Н.А., Петренко А.Н.* Математическая модель теплового состояния частотно-управляемого асинхронного двигателя в стационарных режимах // Проблемы дорожного электропривода. Теория и практика: Тематический выпуск научно-технического журнала «Электроинформ». – 2009. – С. 266.
8. *Голубцов Н.В., Федоров О.В.* Эффективное управление пусконаладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11–22.
9. *Грачева Е.И., Садыков Р.Р.* Исследование вероятностных характеристик систем электропитания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19, № 1–2. – С. 95–101.

УДК 681.5.017

С.Ю. Труднев, М.Н. Бурнаев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: maxon20032003@gmail.com*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДООТЛИВНОЙ СИСТЕМЫ СУДНА

В статье рассматривается разработка системы автоматического управления (САУ) водоотливной системы судна на базе микроконтроллера ATmega328P. Представлена функциональная схема системы, описана элементная база, включающая датчики уровня жидкости, водоотливные насосы и средства дистанционного мониторинга. Предложенная система обеспечивает автоматическое обнаружение затопления судовых помещений и оперативное удаление воды за борт судна, повышая безопасность мореплавания.

Ключевые слова: водоотливная система, система автоматического управления, микроконтроллер ATmega328P, датчики уровня жидкости, судовая автоматизация, протокол Modbus, SCADA-система.

S.Yu. Trudnev, M.N. Burnaev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: maxon20032003@gmail.com*

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM SHIP'S DRAINAGE SYSTEM

The development of automatic control system (ACS) for the ship drainage system based on the ATmega328P microcontroller is considered. The functional scheme of the system is presented, the element base including liquid level sensors, drainage pumps and remote monitoring devices is described. The proposed system provides automatic detection of flooding of ship premises and prompt removal of water overboard, increasing the safety of navigation.

Key words: drainage system, automatic control system, ATmega328P microcontroller, liquid level sensors, marine automation, Modbus protocol, SCADA system.

Современные условия эксплуатации морских судов требуют повышенного внимания к безопасности мореплавания. Ключевую роль в обеспечении живучести судна играет водоотливная система, предназначенная для откачки воды при пробоинах или протечках.

Эффективность этой системы напрямую влияет на безопасность экипажа. Традиционные решения требуют постоянного контроля и ручного управления, что увеличивает время реакции и риск ошибок.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления (САУ), обеспечивающей:

- непрерывный мониторинг уровня воды;
- автоматический запуск насосов при критических уровнях;
- дистанционный контроль и сигнализацию;
- интеграцию с центральной системой судна по протоколу Modbus.

Состав водоотливной системы:

- насосы и эжекторы;
- трубопроводы с арматурой;
- система управления и контроля.

Конструктивное исполнение:

- стационарные системы;
- переносные устройства.

Для контроля уровня воды применяются датчики: поплавковые, гидростатические, емкостные.

На первом этапе проектирования требуется выбор электромеханического оборудования – двигателя и насоса [1, 2, 5]. Их соответствие проверяется графоаналитическим методом путем совместного построения механических характеристик.

Уравнение механической характеристики асинхронного электродвигателя имеет вид:

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}},$$

где $S_{\text{кр}}$ – критическое скольжение, о. е.;

S – скольжение, о. е.;

M_{\max} – максимальный (критический) момент, Н·м.

Расчет максимального (критического) момента и критического значения скольжения выполняется в соответствии с рекомендациями [3, 4].

Момент сопротивления, создаваемый механизмом (водоотливным насосом), определяется из выражения:

$$M = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta \cdot \pi \cdot n},$$

где Q – расход, м³/с;

H – напор, м;

ρ – плотность морской воды, кг/м³;

n – частота вращения, с⁻¹;

g – ускорение свободного падения, м/с².

На рис. 1 представлено определение параметров электропривода графоаналитическим методом.

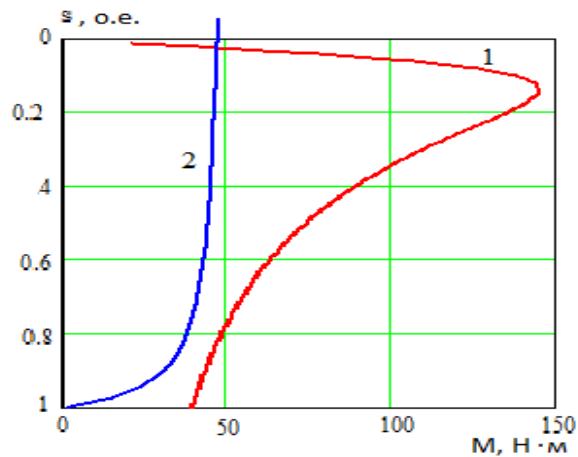


Рис. 1. Определение параметров электропривода:

1 – механическая характеристика электродвигателя; 2 – механическая характеристика насоса

Зная параметры работы системы, перейдем к технической реализации системы. Схема САУ водоотливной системы включает следующие основные элементы:

- датчики уровня жидкости – обеспечивают непрерывный контроль уровня воды в трюмных помещениях;
- микроконтроллер ATmega328P – центральный управляющий элемент системы, осуществляющий обработку данных от датчиков и управление исполнительными механизмами;
- водоотливные насосы – исполнительные устройства для удаления воды за борт;
- систему аварийного оповещения – звуковая и световая сигнализация;
- ЖК-дисплей LCD1602 – локальная индикация параметров системы;
- интерфейс RS-485 – обеспечивает связь с удаленными системами мониторинга.

Система водоотлива функционирует следующим образом. Аналоговые датчики уровня воды (рис. 2) формируют аналоговый сигнал, который изменяется в зависимости от степени погружения в жидкость. Принципиальная схема модуля датчика уровня воды представлена на рис. 3. Рабочее напряжение 5 В [3]. Выходное напряжение зависит от степени погружения датчика в жидкость и параметров, влияющих на коэффициент передачи напряжения.

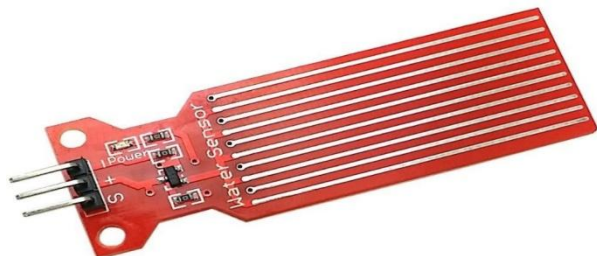


Рис. 2. Внешний вид датчика уровня воды

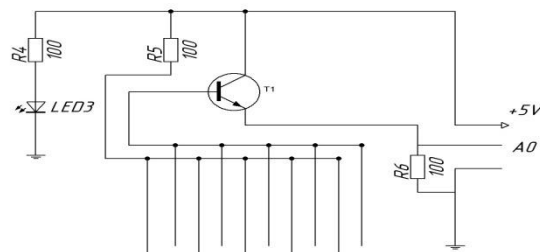


Рис. 3. Схема модуля датчика уровня воды

Аналоговый сигнал преобразуется с помощью АЦП в цифровой сигнал и в дальнейшем обрабатывается в цифровом виде в микроконтроллере ATmega328P. Его применение обусловлено доступностью, простотой в программировании и интеграции с другими системами, а также широкой поддержкой со стороны платформ разработки (Arduino), что делают его доступным инструментом для создания систем управления и мониторинга.

Информация о количестве воды в трюме будет отображаться на дисплее (рис. 4).

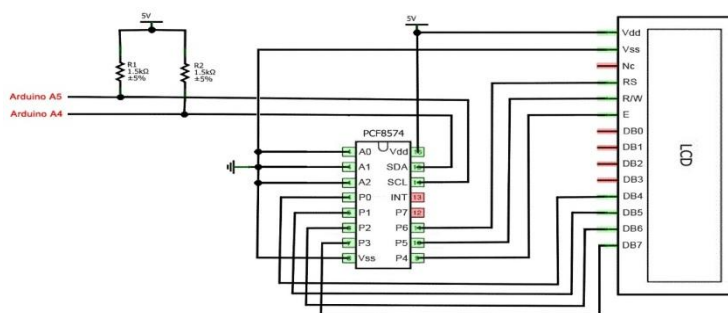


Рис. 4. Принципиальная схема дисплея LCD1602 с I2C-модулем

Программное обеспечение микроконтроллера разработано с использованием Arduino IDE.

Для дистанционного мониторинга и управления система интегрируется с SCADA-системой Simplight через протокол Modbus RTU.

SCADA-системы предназначены для организации сбора данных в реальном времени, диспетчерского контроля и автоматизации технологических процессов.

Протокол Modbus RTU использует последовательные линии связи (RS-485) и является наиболее распространенным в промышленной автоматизации.

Основные результаты работы:

1. Разработана функциональная схема САУ водоотливной системы, включающая датчики уровня, микроконтроллер, исполнительные механизмы и средства визуализации.
2. Обоснован выбор элементной базы системы – микроконтроллер ATmega328P, аналоговые и герконовые датчики уровня воды, мембранные насосы R385.
3. Создано программное обеспечение для микроконтроллера, реализующее алгоритмы опроса датчиков, управления насосами и обмена данными по протоколу Modbus RTU.
4. Разработана принципиальная электрическая схема системы, обеспечивающая надежную работу всех компонентов.
5. Выполнена интеграция с SCADA-системой Simplight для дистанционного мониторинга и управления.

Экспериментальная проверка макета системы подтвердила работоспособность предложенных технических решений. Разработанная система может быть рекомендована для внедрения на судах различных типов с целью повышения безопасности мореплавания и защиты судна от затопления.

Практическая значимость работы заключается в создании доступного и эффективного решения для автоматизации водоотливных систем, что особенно актуально для модернизации существующего флота в условиях ограниченных финансовых ресурсов.

Литература

1. Шандров Б.В., Чудаков А.Д. Технические средства автоматизации: Учебник для вузов. – М.: Академия, 2007. – 368 с.
2. Музылева И.В. Элементарная база для построения цифровых систем управления: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2006. – 144 с.
3. Кацман М.М. Электрические машины: Учебник для студентов учреждений сред. проф. Образования. – 12-е изд., стер. – М.: Издат. центр «Академия», 2013. – 496 с.
4. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем: Учебник для вузов / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: МЭИ, 2007. – 476 с.
5. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник / Дж. Фрайден; пер. с англ. Ю.А. Заболотной. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

УДК 621.316.7

С.Ю. Труднев, И.А. Ямпольский

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: Yampolsky216238@mail.ru*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

Статья посвящена модернизации системы регулирования частоты вращения дизель-генераторных агрегатов на судах, в частности на корабле ПЖС-219. Замена устаревших механических регуляторов на современные микропроцессорные системы позволяет значительно повысить стабильность судовой электросети при резких изменениях нагрузки.

Ключевые слова: дизель-генераторный агрегат (ДГА), модернизация, исполнительный механизм (актюатор).

S.Yu. Trudnev, I.A. Yampolsky

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: Yampolsky216238@mail.ru*

MODERNIZATION OF DIESEL GENERATOR SET ROTATION SPEED SYSTEM

The article focuses on upgrading the rotation speed control system of diesel generator sets on vessels, particularly on the PZS-219 ship. Replacing outdated mechanical regulators with modern microprocessor-based systems significantly enhances the stability of the ship's electrical network during sharp load fluctuations.

Key words: diesel generator set (DGS), modernization, actuator.

Эксплуатация судовых дизель-генераторных агрегатов (ДГА) является одной из ключевых задач для специалиста электротехнической специальности. Стабильная работа ДГА – это гарантия надежного энергоснабжения всех судовых систем, от навигационного оборудования до грузовых механизмов [1]. На специализированных судах, таких как рыбопромысловые или плавучие очистные сооружения (корабль ПЖС-219), к системе электроснабжения предъявляются особые требования. Циклический характер работы мощных потребителей (траловые лебедки, насосы, очистное оборудование) вызывает постоянные броски нагрузки, что приводит к значительным колебаниям частоты и напряжения в судовой сети.

Традиционные системы регулирования частоты вращения, основанные на механических или простейших гидравлических регуляторах, зачастую не справляются с поддержанием стабильных параметров при резком изменении нагрузки. Это приводит к таким негативным последствиям, как «плавание» частоты и напряжения, повышенный износ двигателя из-за цикличности нагрузок, перерасход топлива и ухудшение условий пуска мощных электродвигателей.

Современным решением этих проблем является модернизация системы регулирования скорости с применением микропроцессорных регуляторов и систем автоматизированного управления. Такая модернизация позволяет не только повысить качество электроэнергии, но и существенно увеличить топливную экономичность и ресурс дизель-генератора.

Принципы работы и необходимость модернизации

Основной задачей всережимного регулятора скорости дизельного двигателя является поддержание заданной частоты вращения вала генератора (например, 750 об/мин для получения 50 Гц) независимо от текущей нагрузки [2]. В устаревших системах, которые можно встретить на судах проекта ПЖС-219, эту функцию выполняют механические центробежные регуляторы.

Их принцип действия основан на уравнивании центробежной силы грузов и силы пружины. При изменении нагрузки скорость вращения меняется, что приводит к перемещению муфты регулятора и через рычажную систему – к изменению положения рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД).

Главные недостатки такой системы

1. Низкое быстродействие. Механическая система обладает инерционностью, что приводит к временному провалу или всплеску частоты при резком приложении или сбросе нагрузки.

2. Статическая ошибка. Механический регулятор не может обеспечить одинаковую частоту вращения на холостом ходу и под полной нагрузкой; наблюдается так называемая статизмность – падение частоты с ростом нагрузки.

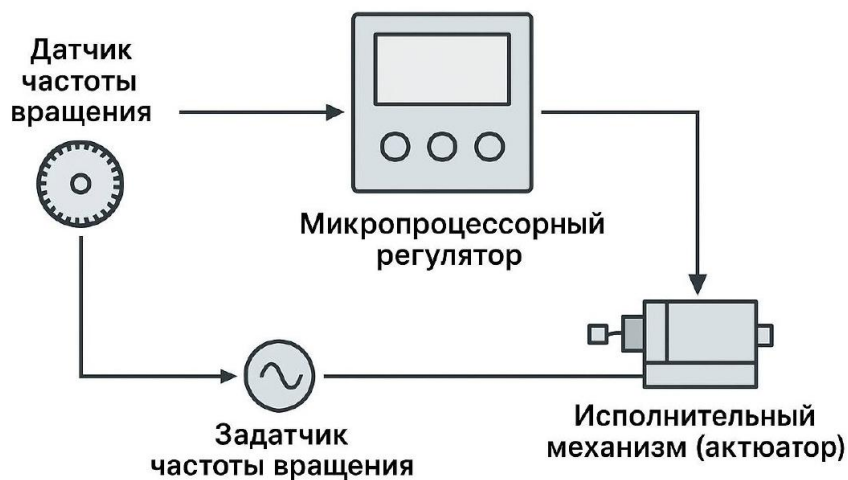
3. Износ и необходимость частой регулировки. Механические соединения и шарниры со временем изнашиваются, что требует постоянного контроля и юстировки.

Микропроцессорный регулятор (например, известных марок Woodward или DEIF) кардинально меняет подход к регулированию. Он представляет собой специализированный программируемый контроллер, который непрерывно измеряет фактическую частоту вращения двигателя с помощью датчика (например, индуктивного или Hall-эффекта) и сравнивает ее с заданной уставкой.

Структура модернизированной системы

Как показано на рисунке, модернизированная система включает в себя следующие ключевые элементы: датчик частоты вращения (устанавливается на маховике двигателя или другом вращающемся элементе и передает сигнал на контроллер); микропроцессорный регулятор (является «мозгом» системы, он обрабатывает сигнал от датчика, сравнивает его с уставкой и по заранее заданному алгоритму, как правило, ПИД-регулирования, формирует управляющий сигнал); исполнительный механизм (актюатор – электрогидравлическое или электромеханическое устройство, которое преобразует электрический сигнал от регулятора в точное механическое перемещение рейки ТНВД); задатчик частоты вращения (потенциометр или кнопки на щите управления, позволяющие оперативно изменять заданную частоту (например, при переводе агрегата на резерв)) [3].

Структурная схема модернизированной системы регулирования ДГА



Структурная схема модернизированной системы регулирования ДГА

Принцип работы модернизированной системы

При резком увеличении нагрузки на генератор (например, запуск траловой лебедки) частота вращения начинает падать. Датчик мгновенно фиксирует это изменение и передает данные в регулятор. Регулятор в соответствии с заложенной программой вычисляет необходимое воздействие и подает усиленный сигнал на актюатор. Актюатор практически мгновенно перемещает рейку

ТНВД в сторону увеличения подачи топлива. Благодаря высокому быстродействию провал частоты оказывается минимальным и быстро компенсируется. Аналогично при сбросе нагрузки система оперативно уменьшает подачу топлива, предотвращая разнос частоты.

Практические аспекты модернизации на примере ПЖС-219

Модернизация системы регулирования ДГА на корабле ПЖС-219 предполагает следующие основные этапы:

- демонтаж старого оборудования. Удаляются механический регулятор, тяги и рычаги;
- установка нового оборудования (на кронштейне двигателя монтируется актюатор, который соединяется с рейкой ТНВД через штатное или новое соединение, устанавливается датчик частоты вращения, в рубке управления или у щита генератора монтируется микропроцессорный контроллер);
- прокладка кабелей. Соединяются все элементы системы экранированным кабелем;
- программирование и настройка. Это самый ответственный этап. С помощью ноутбука и специализированного программного обеспечения инженер настраивает параметры ПИД-регулятора (коэффициенты усиления, интегральные и дифференциальные постоянные времени) под динамические характеристики конкретного двигателя. Настраиваются уставки, ограничения и логика работы.

Преимущества модернизации для судна ПЖС-219

- повышение стабильности сетей. Резкие пуски и остановки насосов очистных сооружений не будут вызывать значительных колебаний частоты;
- улучшение условий пуска электродвигателей. Стабильное напряжение облегчает пуск асинхронных двигателей насосов и вентиляторов;
- снижение расхода топлива. Оптимальное регулирование подачи топлива на всех режимах работы позволяет экономить 3–7% горючего;
- увеличение моторесурса. Снижение динамических нагрузок на коленчатый вал и шатунно-поршневую группу;
- упрощение обслуживания. Система обладает функциями самодиагностики и ведения журнала аварийных событий.

Модернизация системы регулирования частоты вращения дизель-генераторного агрегата с заменой устаревшего механического регулятора на современный микропроцессорный комплекс является не просто данью технологической моде, а эффективным и экономически обоснованным мероприятием. Для судов со сложным графиком нагрузки, таких как корабль ПЖС-219, такая модернизация позволяет перевести энергообеспечение на качественно новый уровень: повысить надежность, экономичность и безопасность эксплуатации судовой электроэнергетической системы. Внедрение таких систем – это прямой путь к соответствию современным требованиям по энергоэффективности и экологичности морского транспорта.

Литература

1. Судовые дизели и их эксплуатация: Учебник для вузов водного транспорта / В.А. Семечкин, Н.Н. Божко, В.В. Баннов. – М.: Транспорт, 2018. – 463 с.
2. Автоматизация судовых энергетических установок: Учебное пособие / А.С. Пунда. – М.: Моркнига, 2020. – 312 с.
3. Руководство по эксплуатации микропроцессорного регулятора скорости Woodward 2301А.

УДК 621.317.3:321.313.333

Е.В. Шаповалова, Г.С. Мясников

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: meian@mail.ru*

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УСТАНОВОК ПО ИСПЫТАНИЯМ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье представлен обзор современных зарубежных установок, применяемых для испытаний асинхронных электродвигателей. Рассмотрены два примера технических решений: исследовательский стенд компании Hottinger Brüel & Kjær, созданный совместно с Политехническим университетом Турина, и промышленная система Baker WinAST, разработанная фирмой Megger Baker Instruments (США). Первая установка предназначена для лабораторных испытаний и анализа квазистатических электромеханических характеристик двигателей, вторая – для автоматизированного контроля качества статоров и обмоток в условиях серийного производства. Проведено сравнение их конструктивных особенностей, измерительных систем и областей применения. Отмечено, что использование подобных установок способствует совершенствованию методов диагностики и контроля электрических машин, а также имеет значительный потенциал в инженерном образовании при изучении принципов работы и испытаний асинхронных двигателей.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, испытательный стенд, изоляция, измерение параметров, автоматизация, контроль качества.

E.V. Shapovalova, G.S. Myasnikov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: meian@mail.ru*

ANALYSIS OF FOREIGN TEST SYSTEMS FOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

The article presents a review of modern foreign test systems used for testing induction (asynchronous) electric motors. Two examples of technical solutions are analyzed: the research test rig developed by Hottinger Brüel & Kjær in cooperation with the Politecnico di Torino, and the industrial quality-control system Baker WinAST, designed by Megger Baker Instruments (USA). The first installation is intended for laboratory testing and the analysis of quasi-static electromechanical characteristics of motors, while the second one is used for automated quality inspection of stator windings and coils in mass production. A comparison of their structural features, measurement systems and application areas is provided. It is noted that the implementation of such test benches contributes to the improvement of diagnostic methods and electrical machine quality control and also has significant potential in engineering education for studying the operating principles and testing procedures of induction motors.

Key words: induction motor, test bench, insulation, parameter measurement, automation, quality control.

Повышение требований к надежности и энергоэффективности асинхронных электродвигателей требует совершенствования методов их испытаний и контроля качества [1]. В мировой практике создаются стенды, обеспечивающие как исследовательские, так и производственные испытания электрических машин. Особое значение имеют зарубежные разработки, сочетающие автоматизацию измерений, точность регистрации параметров и интеграцию с цифровыми системами анализа данных.

Использование подобных установок представляет интерес не только для промышленности, но и для образовательного процесса при подготовке инженеров-электромехаников [2–4]. Лабораторные и производственные стенды позволяют обучающимся изучать реальные электромеханические процессы, осваивать методы диагностики, анализа и моделирования работы асинхронных двигателей.

В работе рассматриваются два примера современных испытательных установок: лабораторный стенд Hottinger Brüel & Kjær, созданный совместно с Политехническим университетом Турина, и производственная система Baker WinAST компании Megger Baker Instruments (США). Сравнение их конструктивных решений и функциональных возможностей позволяет проследить современные направления развития технологий испытаний и определить потенциал их применения в инженерном образовании.

Рассмотрим испытательный стенд, созданный в сотрудничестве компании Hottinger Brüel & Kjær с Политехническим университетом Турина [5–7]. Данный стенд предназначен для определения квазистатических электромеханических характеристик асинхронных двигателей, запитываемых синусоидальным напряжением. Основной целью комплекса является получение точных зависимостей между механическими и электрическими параметрами машины (моментом, скоростью, током, напряжением, мощностью и КПД) при различных режимах нагрузки. Такой тип стенда широко используется в лабораторных условиях и центрах технических испытаний для анализа эффективности, потерь и энергетических свойств электрических машин.

Установка включает в себя испытуемый асинхронный двигатель и нагрузочный механизм (тормоз или генератор), которые установлены на механических опорах с использованием вертикальных пластин. Между ними установлен датчик крутящего момента, соединенный с валами через эластичные муфты (рис. 1). В установку также входит система измерения и синхронизации. Механические параметры фиксируются при помощи датчиков крутящего момента и скорости, а электрические – посредством измерительных каналов тока и напряжения. Все сигналы поступают в систему сбора данных, обеспечивающую высокоточную синхронизацию и регистрацию в реальном времени. Программное обеспечение НВК позволяет проводить комплексную обработку данных: вычислять активную и реактивную мощность, определять потери, строить графики «момент – скорость» и формировать карты эффективности двигателя.



Рис. 1. Испытательная установка НВК для асинхронного двигателя, включающая испытуемую машину, нагрузочный двигатель, датчик крутящего момента и систему сбора данных

Данная установка позволяет выполнять целый ряд испытаний: измерение квазистатических характеристик крутящего момента, испытание с заблокированным ротором, испытание без нагрузки на синхронной скорости, испытание на эффективность, испытание для оценки постоянной времени ротора, стандартное испытание холостого хода.

Основным преимуществом данного тестера является возможность одновременного и синхронного измерения электрических и механических величин, что исключает временные сдвиги и повышает достоверность результатов. Система позволяет получать устойчивые квазистатические характеристики при плавном изменении нагрузки, что особенно важно при исследовании асинхронных двигателей различной мощности и конструкции. Благодаря высокой точности измерений установка обеспечивает получение детализированных данных для последующего анализа и моделирования процессов электромеханического преобразования энергии.

Испытательный стенд способен провести полную электромеханическую оценку испытуемого образца менее чем за десять секунд. Разработчики считают предлагаемый испытательный стенд хорошим решением для проведения проверочных испытаний в режиме реального времени на заключительном этапе производственных линий, в частности, для асинхронных двигателей малого и среднего размера.

Таким образом, испытательная установка НВК представляет собой многофункциональный инструмент, обеспечивающий комплексное исследование характеристик асинхронных машин. Использование данного стенда дает возможность проводить объективную оценку эксплуатационных свойств двигателей, сравнивать различные образцы, выявлять влияние конструктивных и технологических факторов на характеристики машины. Кроме того, результаты испытаний могут служить основой для построения математических моделей, предназначенных для прогнозирования поведения двигателя при переходных режимах и оптимизации систем управления. Таким образом, тестер НВК представляет собой современное средство исследования, сочетающее точность измерений, универсальность применения и широкий спектр аналитических возможностей.

После рассмотрения стенда НВК для исследования квазистатических электромеханических характеристик асинхронных двигателей целесообразно рассмотреть оборудование, предназначенное для серийного контроля качества асинхронных двигателей. Одним из примеров промышленных решений такого типа является испытательная система Baker WinAST, разработанная подразделением Megger Baker Instruments (США) [8–9].

Установка представляет собой автоматизированный модуль, применяемый для проверки статоров, роторов и катушек электродвигателей переменного и постоянного тока различной мощности. Основное назначение комплекса – контроль качества изоляции, обмоток и электрических параметров машин на этапе производственного тестирования. В отличие от исследовательских установок, Baker WinAST ориентирован на обеспечение повторяемости параметров при массовом производстве двигателей, генераторов и катушек.

Стенд предназначен для высокопроизводительных испытаний двигателей мощностью до 5 000 hp ($\approx 3,7$ МВт) в диапазоне переменного тока, а также до 1 500 hp для машин постоянного тока. Он используется производителями электродвигателей, генераторов и обмоток для выявления дефектов изоляции, межвитковых замыканий и нарушений симметрии обмоток, способных вызвать отказ оборудования на раннем этапе эксплуатации.

В системе реализован комплекс методов испытаний, охватывающих основные электрические параметры машин. При испытании изоляции используется повышенное напряжение переменного и постоянного тока с технологией регистрации микроархивов (*micro-arc detection*), которая позволяет фиксировать дефекты изоляции между обмоткой и корпусом, а также между фазами.

В рамках импульсного испытания на обмотки подается кратковременный высоковольтный импульс, моделирующий переходные процессы, возникающие в реальных условиях работы двигателя. Сравнение формы полученной осциллограммы с эталонной выполняется по методу *Error Area Ratio*, основанному на вычислении площади расхождения между сигналами. Методика позволяет выявлять короткозамкнутые витки, ошибочную полярность катушек и изменения в магнитопроводе (рис. 2).

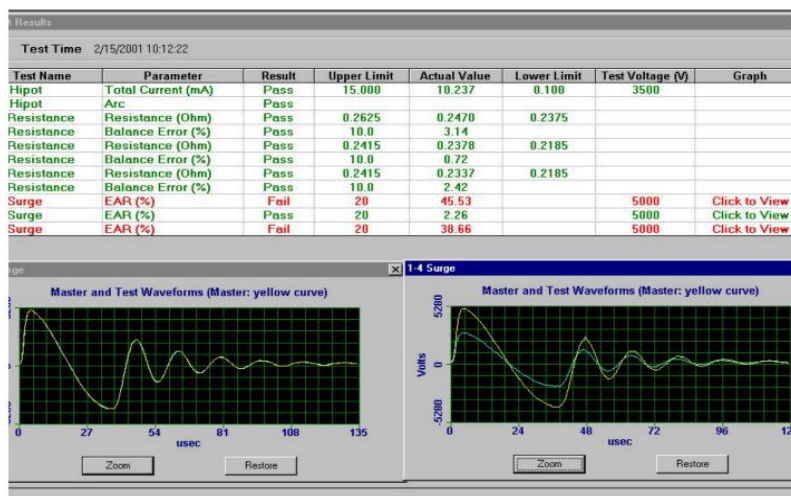


Рис. 2. Пример результатов испытания, выполняемого системой Baker WinAST: сравнительные осциллограммы магнитного поля статора, демонстрирующие различие между неисправной (верхний график) и исправной (нижний график) обмоткой

Измерение сопротивления обмоток выполняется по четырехпроводной схеме (метод Кельвина), что исключает влияние контактных переходов. Результаты автоматически пересчитываются к стандартной температуре 25°C. Измерение индуктивности используется для проверки целостности обмоток и выявления коротких замыканий, обрывов и фазных небалансов.

Дополнительные проверки включают определение направления вращения магнитного поля с помощью датчиков Холла и анализ распределения магнитного поля [10, 11]. Последний метод позволяет определить число полюсов, симметрию поля и угловое расположение катушек, что дает возможность контролировать правильность сборки обмотки.

Каждая установка Baker WinAST проектируется по индивидуальной конфигурации в виде шкафного модуля. Аппаратная архитектура установки основана на коммутационной матрице реле, автоматически перестраивающей соединения обмоток под различные схемы (*wye, delta, double delta, part-winding*). Система управления построена на базе операционной среды Windows и оснащена интуитивным интерфейсом. Результаты испытаний сохраняются в формате XML и могут передаваться через интерфейсы Ethernet или USB. Конструкция предусматривает возможность установки одно- или двухстанционных приспособлений, а также интерфейсов PLC, штрихкод-сканеров и инфракрасных датчиков температуры.

Рассмотренные испытательные комплексы отражают два различных подхода к исследованию и контролю характеристик асинхронных электрических машин. Система НБК предназначена преимущественно для лабораторных и исследовательских задач, связанных с изучением электромеханических процессов, моделированием режимов работы и определением квазистатических характеристик двигателя. Она обеспечивает измерение крутящего момента, скорости, тока, напряжения и мощности при управляемых нагрузках, что делает ее удобной для анализа энергоэффективности, потерь и поведения машины при переходных режимах.

В отличие от нее, комплекс Baker WinAST ориентирован на производственные условия и выполняет функции контроля качества готовых изделий. Основное внимание уделяется проверке целостности изоляции, корректности соединений и симметрии обмоток, а также накоплению статистических данных для оценки стабильности технологического процесса. Автоматизация последовательности тестов и использование цифровых методов анализа обеспечивают высокую повторяемость измерений при серийных испытаниях.

Современные тенденции в области испытаний и контроля электрических машин связаны с переходом от разрозненных измерительных методик к комплексным автоматизированным системам, объединяющим функции диагностики, анализа и документирования результатов. Рассмотренные решения, исследовательский стенд НБК и производственная система Baker WinAST демонстрируют взаимодополняемость подходов. Первый из них предназначен для детального изучения физических процессов, а второй ориентирован на обеспечение стабильности и воспроизводимости параметров при серийном производстве. Развитие подобных систем представляет интерес не только для промышленности, но и для образовательных организаций, где такие установки могут использоваться в лабораторных занятиях и научно-исследовательской работе студентов. Их применение способствует формированию практических навыков диагностики, анализа и испытаний электрических машин. В развитии испытательных комплексов прослеживается тенденция к цифровой интеграции, росту уровня автоматизации и применению интеллектуальных систем анализа данных. Это позволяет обеспечить комплексный мониторинг и оценку состояния электрических машин на всех этапах их жизненного цикла, от проектирования до эксплуатации.

Литература

1. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Эффективное управление пусконаладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11–22.
2. Голубцов Н.В. Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров // Экономическое возрождение России. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.
3. Федоров О.В., Дарьенков А.Б. Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с. – ISBN 978-5-406-04282-3.
4. Федоров О.В., Кузнецов Н.М. Альтернативные источники энергии для удаленных потребителей // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6(123). – С. 141–144.

5. Test Rig for Induction Motor – Quasi-Static Electromechanical Characteristic Determination [Электронный ресурс] // Официальный сайт Hottinger Brüel & Kjær (HBK). – URL: <https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/test-rig-for-induction-motor> (дата обращения: 07.11.2025).
6. *Dziemian A. et al.* Test Rig for Induction Motor Quasi-Static Electromechanical Characteristic Determination [Электронный ресурс] // ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/publication/283099760_Test_rig_for_induction_motor_quasi-static_electromechanical_characteristic_determination (дата обращения: 07.11.2025).
7. Politecnico di Torino. Department of Energy. Research on Induction Motor Testing and Characterization [Электронный ресурс] // Официальный сайт Politecnico di Torino. – URL: <https://www.energy.polito.it> (дата обращения: 07.11.2025).
8. Baker WinAST – Electric Motor Quality Control System [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Megger. – URL: <https://www.megger.com/en-gb/products/baker-winast> (дата обращения: 07.11.2025).
9. Megger Baker Instruments. Baker WinAST Electric Motor Quality Control System: Brochure [Электронный ресурс]. – Fort Collins (USA): Megger Ltd., 2019. – 7 p. – URL: <https://www.megger.com> (дата обращения: 07.11.2025).
10. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / *А.В. Синюков, Т.В. Синюкова, Е.И. Грачева и др.* // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87–98.
11. *Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V.* The Analysis of the practice of using of high-voltage frequency converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – Art. № 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.

УДК 621.317.3:321.313.333

Е.В. Шаповалова, А.О. Рогожников

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: meian@mail.ru*

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ИМИТАЦИИ РАБОТЫ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СУДОВЫХ ОПЕРАТОРОВ

В статье представлен анализ современных технических решений в области имитационного моделирования работы судовых электроустановок, применяемых при подготовке судомехаников и инженеров-электромехаников. Рассмотрены аппаратно-программные комплексы зарубежных разработчиков – Wärtsilä TechSim ERS, Kongsberg K-Sim Engine и UNITEST Virtual Engine Room VER7, их структура, функциональные возможности, педагогические преимущества и ограничения. Особое внимание уделено реализации принципов модульности, визуализации технологических процессов и интерактивного контроля действий обучающихся. Показано, что современные тренажерные системы обеспечивают многоуровневое обучение: от базовых навыков эксплуатации оборудования до анализа аварийных и нестандартных ситуаций. Отмечена важность интеграции тренажеров с дистанционными образовательными платформами и облачными сервисами. Сделан вывод о необходимости дальнейшего совершенствования иммерсивных симуляторов с учетом тенденций цифровизации, энергоэффективности и экологической устойчивости морского образования.

Ключевые слова: судовая электростанция, тренажерная подготовка, иммерсивный симулятор, безопасность мореплавания, судовая электроустановка, автоматизация.

E.V. Shapovalova, A.O. Rogozhnikov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: meian@mail.ru*

ANALYSIS OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR SHIP POWER PLANT OPERATION MODELING IN SHIP OPERATORS TRAINING

The article presents an analysis of modern technical solutions for simulating the operation of ship electrical power plants used in the training of marine engineers and electro-technical officers. The study examines advanced training simulators developed by leading foreign manufacturers – Wärtsilä TechSim ERS, Kongsberg K-Sim Engine, and UNITEST Virtual Engine Room VER7. Their architecture, functional capabilities, pedagogical advantages, and technical limitations are described. Particular attention is given to the modular design of the systems, the use of 3D visualization of technological processes, and interactive control tools that ensure realistic learning conditions. It is emphasized that such simulators support multi-level training – from basic operational skills to the analysis of complex and emergency situations. The importance of integrating simulation technologies with remote learning environments and cloud platforms is underlined. The article concludes that further development of immersive simulators is essential to meet modern requirements of digitalization, energy efficiency, and environmental sustainability in maritime education.

Key words: ship power plant, simulator training, immersive simulator, maritime safety, ship electrical power system, automation.

Более экологичное судоходство и внедрение интеллектуальных технологий представляют собой серьезную задачу для морского образования [1, 2]. Никакие усилия по повышению энергоэффективности и снижению выбросов не принесут ожидаемого результата, если специалисты не будут обучены работе с новыми системами и цифровыми процессами [3, 4]. В ответ на эти вызовы разработчики из разных стран создают иммерсивные симуляторы, обеспечивающие реалистичное обучение операторов судовых электроустановок.

Разработанный финской компании Wärtsilä Corporation тренажер Wärtsilä TechSim Engine Room Simulator (ERS) представляет собой современную имитационную систему, предназначенную для обучения и оценки профессиональных компетенций инженерно-технического персонала судов. На рис. 1 изображен общий вид аппаратно-программного комплекса Wärtsilä TechSim ERS, включающего пульта управления и панели визуализации, воспроизводящие реальное машинное отделение.



Рис. 1. Общий вид аппаратно-программного комплекса Wärtsilä TechSim ERS

Симулятор создан на технологической платформе TechSim и реализует модульный принцип построения, что позволяет использовать его как автономный тренажер или часть тренажерного комплекса. В комплектацию тренажера входит: имитация судовой дизельной пропульсивной установки, имитация судовой электрической силовой установки, вспомогательные системы и механизмы, системы сигнализации тревоги с визуальными и звуковыми индикаторами, 3D-визуализация машинного отделения и помещений, возможность контроля и мониторинга с разных мест (машинное отделение, рубки управления, дистанционный доступ [5]).

Для преподавателя предусмотрен редактор упражнений с режимами, который позволяет создавать и редактировать сценарии. Режимы позволяют вести контроль на разных этапах выполнения: «брифинг» перед упражнением, «онлайн» – контроль во время выполнения, «дебрифинг» – воспроизведение и анализ после выполнения. Также у инструктора есть возможность контролировать множество рабочих станций, изменять сценарии, вводить неисправности, моделировать аварийные и нестандартные ситуации, включая отказы оборудования, нарушение параметров работы систем, пожары и затопления и анализировать действия обучающихся. На рис. 2 показан один из учебных сценариев – «Fire in the Engine Room», демонстрирующий визуализацию аварийной ситуации в машинном отделении судна в 3D-среде.

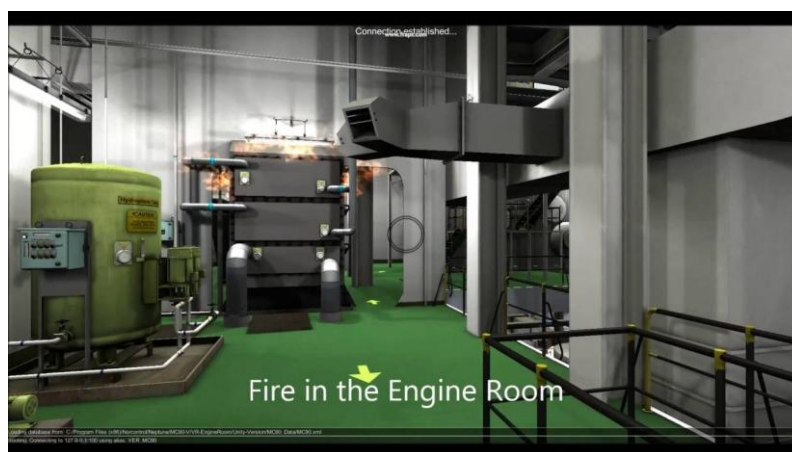


Рис. 2. Сценарий аварийной ситуации «Fire in the Engine Room» в машинном отделении судна

Особенностью ERS является возможность работы в облачной среде, что обеспечивает удаленный доступ к учебным модулям и проведение дистанционного обучения. Система соответствует международным стандартам STCW Convention 2010 и IMO Model Courses 2.07, 7.04, что позволяет использовать ее для официальной аттестации экипажей.

Несмотря на высокую технологичность, Wärtsilä TechSim Engine Room Simulator имеет ряд организационных, технических и педагогических ограничений, главным образом связанных с:

- высокой стоимостью владения, дополнительные модули (High Voltage, LNG, Hybrid Power Systems) приобретаются отдельно;
- высокими требованиями к инфраструктуре, необходима специализированная серверная инфраструктура, резервное питание, система охлаждения и сетевое оборудование [6];
- закрытой архитектурой, что ограничивает возможность самостоятельной модификации сценариев и интеграции с внешними симуляторами [7];
- сложностью интерфейса и зависимостью от уровня подготовки обучающихся;
- редкими обновлениями контента.

Второй тренажер, который заслуживает внимание, разработан норвежской компанией Kongsberg Maritime AS. Тренажер K-Sim Engine построен на платформе K-Sim Simulator Framework и представляет собой модульно построенный комплекс, объединяющий аппаратные и программные компоненты, обеспечивающие реалистичное моделирование работы судовой энергетической установки [8]. В данный комплекс входит несколько функциональных подсистем:

- Engine Control Room – физическая копия поста управления машинным отделением с пультами, переключателями, индикаторами и системами аварийной сигнализации;
- Switchboard Room (распределительный щит) – моделирует судовую электrorаспределительную систему, включая генераторы, автоматические выключатели и систему синхронизации;
- Instructor Station – рабочее место преподавателя с двумя мониторами, инструментами сценарного управления, ввода неисправностей, наблюдения и оценки действий обучаемых;
- Trainee Workstations – индивидуальные станции обучающихся (1–24 ед.), оснащенные сенсорными экранами или мониторами для управления параметрами систем;
- Network & Server Unit – сервер, обеспечивающий обмен данными между всеми станциями, хранение логов и подключение к облачной платформе K-Sim Connect;
- Visualization Subsystem – трехмерная визуализация машинного отделения, динамическая анимация оборудования, панелей и систем.

Для расширения учебных возможностей используются дополнительные модули: High Voltage Training Module – обучение работе с судовыми электроустановками высокого напряжения (до 6,6 кВ); Dual-Fuel Engine Module – моделирование двигателей, работающих на двух типах топлива; Hybrid Power and Energy Storage Module – симуляция гибридных энергетических систем с аккумуляторными батареями; Eco-Efficiency Module – оценка энергоэффективности и моделирование выбросов [9].

Все элементы тренажера объединены в единую сеть с возможностью подключения к облачной платформе K-Sim Connect, что позволяет использовать систему как в локальном, так и в дистанционном режиме. Такая архитектура обеспечивает гибкость конфигурации, масштабируемость и совместимость с другими симуляторами Kongsberg Maritime.

Таким образом, K-Sim Engine представляет собой комплексную систему, сочетающую физические панели управления, виртуальные модели и интеллектуальные алгоритмы моделирования. Такая структура обеспечивает многоуровневое обучение – от базовых навыков работы с энергетической установкой до анализа аварийных ситуаций и оптимизации режимов судовой электростанции.

Следующий тренажер, который мы рассмотрим, – Virtual Engine Room VER7 польского производителя UNITEST Marine Simulators Ltd.

Данный программный симулятор машинного отделения судна предназначен для обучения студентов, инженеров-электромехаников и персонала судовой энергетики. Система построена по модульному принципу и объединяет интерактивные панели управления, математические модели судовых систем и инструменты педагогического контроля.

Интегрированная система тренажера включает в себя: Simulation Core – ядро моделирования, обеспечивающее численное воспроизведение термодинамических, электрических и гидравлических процессов в судовой энергетической установке; User Interface Module – виртуальную

среду рабочего места судового механика с интерактивными панелями и визуализацией трубопроводов, клапанов, резервуаров и приборов; Assessment and Monitoring System – подсистему наблюдения и контроля, записывающую действия обучающегося и анализирующую их в соответствии с программой обучения STCW 2010.

В стандартной версии VER7 тренажер реализуется полностью в цифровом виде и не требует специального аппаратного обеспечения. Однако при необходимости может интегрироваться в учебную локальную сеть (1–20 рабочих мест) с инструкторской станцией, которая управляет упражнениями, вводит неисправности и формирует отчет об оценке, с периферийными устройствами – большими мониторами, сенсорными экранами, VR-панелями и системой звуковой имитации работы машинного отделения. На рис. 3 представлен интерфейс тренажера Virtual Engine Room VER7, в котором визуализируются системы подачи топлива, смазки, охлаждения и управления механизмами.

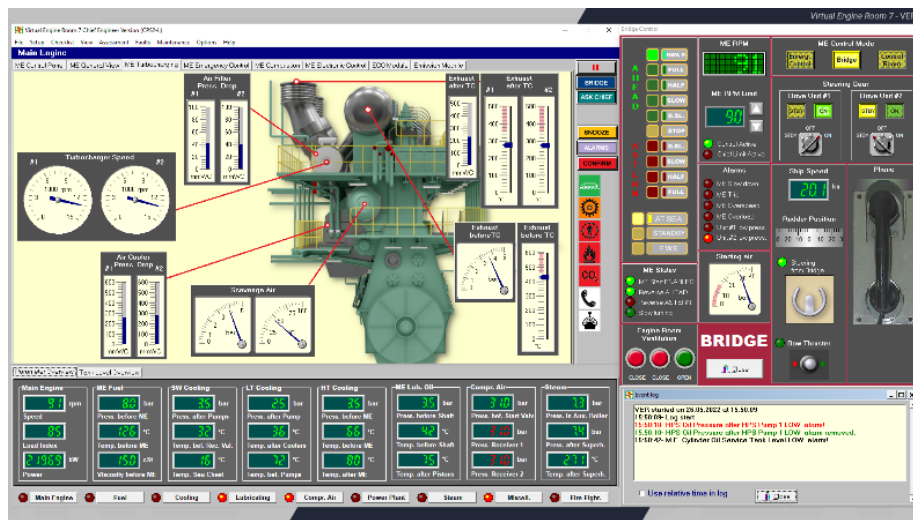


Рис. 3. Интерфейс тренажера Virtual Engine Room VER7: виртуальная панель управления машинным отделением с отображением топливной, смазочной и охлаждающей систем

Благодаря модульной структуре тренажер может быть адаптирован под различные типы судов (балкеры, танкеры, контейнеровозы, суда с дизель-электрической установкой) [9].

Данные разработки зарубежных производителей показывают, что интеграция симуляционных технологий и дистанционных образовательных платформ становится ключевым направлением развития современного морского образования. Для учебных заведений и центров подготовки экипажей, где требуется охват множества проектов и конфигураций наиболее целесообразным решением является использование модульных цифровых тренажеров, позволяющих быстро изменять параметры установки и условия эксплуатации.

Расширяющийся диапазон моделируемых режимов работы описанных выше тренажеров позволяет обеспечивать гибкость обучающего процесса, проработку различных сценариев через взаимосвязи между несколькими системами судовых установок [10–12]. Это способствует глубокому пониманию физических процессов в судовых энергетических комплексах. Осознание взаимосвязей между подсистемами позволяет обучающимся адекватно реагировать на аварийные и нестандартные ситуации, требующие быстрой оценки обстановки и принятия оптимальных решений. Подготовка будущих специалистов морской отрасли требует постоянного обновления и модернизации тренажерного оборудования, его приведения в соответствие с современными требованиями цифровизации, энергоэффективности и экологической устойчивости. Расширение стандартных режимов и интеграция интеллектуальных модулей анализа являются важнейшими направлениями актуализации тренажерных систем морского образования XXI в.

Литература

1. Голубцов Н.В. Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров // Экономическое возрождение России. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.

2. Федоров О.В., Дарьенков А.Б. Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с. – ISBN 978-5-406-04282-3.
3. Dimitranov D., Figueroa A., Okafor C., Lee S. Sustainable shipping requires sustainable education and training [Электронный ресурс] // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, № 24. – Art. № 11270. – URL: <https://www.mdpi.com/> (дата обращения: 29.10.2025).
4. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Эффективное управление пусконаладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11–22.
5. Wärtsilä Corporation. Engine Room Simulator (ERS) [Электронный ресурс]. – Официальный сайт Wärtsilä. – URL: <https://www.wartsila.com/marine/products/simulation-and-training/technological-simulators/engine-room-simulator> (дата обращения: 29.10.2025).
6. Marine Learning Centers Forum 2023: Proceedings of the International Maritime Education Conference [Электронный ресурс]. – Oslo: Kongsberg & Wärtsilä Consortium, 2023. – URL: <https://www.wartsila.com/> (дата обращения: 29.10.2025).
7. Simulation Interoperability in Maritime Training // WMU Journal of Maritime Affairs. – 2022. – Vol. 21, No. 3. – P. 245–258.
8. Kongsberg Maritime AS. K-Sim Engine [Электронный ресурс]. – Официальный сайт Kongsberg Maritime. – URL: <https://www.kongsberg.com/maritime/products/simulation/k-sim-engine/> (дата обращения: 29.10.2025).
9. UNITEST Marine Simulators Ltd. Virtual Engine Room VER7 [Электронный ресурс]. – Официальный сайт UNITEST Marine Simulators. – URL: <https://www.unitest.pl/> (дата обращения: 29.10.2025).
10. Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V. The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018 (Vladivostok, 03–04 October's 2018). – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – Art. № 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.
11. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / А.В. Синюков, Т.В. Синюкова, Е.И. Грачева и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87–98.
12. Федоров О.В., Кузнецов Н.М. Альтернативные источники энергии для удаленных потребителей // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6(123). – С. 141–144.

УДК 629.5.06:664.95

С.А. Широков

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: svyatoslav.shirokov.02@mail.ru*

МОДЕРНИЗАЦИЯ РЫБООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕХА СУДНА БМРТ «КАПИТАН КАЙЗЕР»

В данной статье рассматривается актуальная тема технологического устаревания оборудования рыбообработывающих цехов для морских судов типа БМРТ, таких как «Капитан Кайзер». Данная проблема зачастую влечет за собой уменьшение объема выпуска продукции, ухудшение ее потребительских свойств и повышение себестоимости производства.

Ключевые слова: БМРТ «Капитан Кайзер», модернизация, рыбоперерабатывающее оборудование, эффективность производства, технико-экономическое обоснование.

S.A. Shirokov

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: svyatoslav.shirokov.02@mail.ru*

FISH PROCESSING SHOP MODERNIZATION OF LARGE REFRIGERATOR TRAWLER “CAPTAIN KAIZER”

The current issue of technological obsolescence of the equipment of fish processing shops for large refrigerator trawlers (LRT) such as “Captain Kaiser” is discussed. This problem often leads to a decrease in production volume, deterioration of the product's consumer properties and an increase in production costs.

Key words: LRT “Captain Kaiser”, modernization, fish processing equipment, production efficiency, feasibility study.

Рыбопромысловый флот является основой для обеспечения продовольственной безопасности и одним из ключевых экспортно-ориентированных секторов экономики Российской Федерации. Данная отрасль выступает в качестве стабильного источника снабжения населения жизненно важными белковыми продуктами, одновременно формируя существенный поток несырьевого экспорта. В условиях растущей конкуренции на мировом рынке морепродуктов и ужесточения требований к качеству и безопасности продукции, особую актуальность приобретает задача технического и технологического перевооружения действующего флота. Эффективность промысла в современной реальности определяется не только объемом вылова, но и способностью перерабатывающего комплекса судна производить широкий ассортимент высококачественной, глубоко переработанной продукции с максимальной добавленной стоимостью непосредственно в море.

Большие морозильные рыболовные траулеры, такие как «Капитан Кайзер», являются фундаментом отечественного рыбопромыслового флота, десятилетиями эти суда обеспечивали значительные объемы добычи и переработки водных биоресурсов в удаленных районах Мирового океана. Однако, несмотря на свою надежность и проверенную временем конструкцию, текущая эксплуатационная реальность, моральный и физический износ технологического оборудования их рыбообработывающих цехов ставит под угрозу экономическую рентабельность эксплуатации данных судов [1, 2]. В связи с этим актуальность модернизации заключается в необходимости адаптации производственных мощностей к современным стандартам качества, эффективности и безопасности выпускаемой продукции, в том числе острой необходимостью обновления пере-

рабатывающих мощностей российского рыбопромышленного флота без вывода судов из эксплуатации на длительный срок. Полученные в работе результаты и выводы могут быть использованы для разработки программ модернизации других судов аналогичного проекта, а также для оценки перспективности инвестиций в техническое перевооружение предприятий рыбной отрасли

Цель работы – анализ технико-экономической эффективности и разработка детализированного проекта модернизации рыбообрабатывающего цеха большого морозильного рыболовного траулера (БМРТ) «Капитан Кайзер» для увеличения производительности, расширения ассортимента выпускаемой продукции, повышения конкурентоспособности судна в условиях современных рыночных требований, снижения энергопотребления, демонстрации долгосрочно-го экономического эффекта не только от роста доходов, но и от снижения затрат.

Объект исследования: Рыбообрабатывающий цех БМРТ «Капитан Кайзер».

Методы сбора исходных данных: Анализ технической документации, изучение судовой документации, паспортов оборудования, технологических карт и планов цеха.

Экспертные интервью: Опрос членов экипажа (технологов, механиков, мастеров) для получения качественной оценки проблем эксплуатации и обслуживания оборудования.

Сравнительный анализ оборудования: Сопоставление технических характеристик, эксплуатационных качеств и экономических показателей существующего и потенциально нового оборудования (таблица).

Сравнительный анализ оборудования

Тип электродвигателя конвейера	Электропривод				Наименование	Гидропривод			
	Количество	Масса, кг	Потребление электроэнергии P, кВт	Время работы до ремонта, ч		Количество	Масса, кг	Потребление электроэнергии P, кВт	Время работы до ремонта, ч
АИР 80В2 УЗ	1	5,6	2,2	150	Г15-21Р	10	4	4	450 (износ 3 000)
АИР 80В2 УЗ	1	6,5	3,2						
АИР 80А1	2	3,0	1,5						
АИР 80А1	1	4,7	2,2						
АИР 80А2	2	3,2	1,5						
АИР 80В2	3	4,7	2,2						
<i>Итого</i>	<i>10</i>		<i>20,2</i>	<i>150</i>		<i>10</i>		<i>4</i>	<i>450</i>

Функционально-стоимостной анализ (ФСА): Оценка функций оборудования и поиск оптимальных решений, обеспечивающих требуемую функциональность с минимальными затратами на протяжении жизненного цикла [3].

Моделирование технологических процессов: Использование методов имитационного моделирования для прогнозирования производительности цеха после модернизации и оптимизации загрузки оборудования.

SWOT-анализ проекта: Оценка сильных и слабых сторон проекта, потенциальных возможностей и рисков, связанных с его реализацией.

Критерии оценки эффективности модернизации:

- технические – прирост производительности (%), снижение энергопотребления (кВт/ч), сокращение доли ручного труда, повышение выхода готовой продукции [4];
- экономические – объем капитальных вложений, снижение эксплуатационных расходов, срок окупаемости проекта, NPV;
- эксплуатационные – надежность, ремонтпригодность, удобство обслуживания, соответствие санитарным нормам и правилам безопасности.

В результате реализации проекта модернизации рыбообрабатывающего цеха БМРТ «Капитан Кайзер» ожидается достижение следующих результатов:

- рост общей производительности цеха на 20–30% и эффективности обработки сырья;
- снижение себестоимости производимой продукции за счет роста выхода готового продукта и снижения энергозатрат;

- повышение коэффициента использования сырья;
- увеличение доли продукции высшей ценовой категории;
- сокращение численности технологического персонала при одновременном повышении квалификационных требований;
- приведение судового производства в соответствие с международными санитарными нормами и стандартами (НАССР, ISO).

Из вышеизложенного следует:

1. Проведение модернизации рыбообработывающего цеха БМРТ «Капитан Кайзер» является не просто капитальным ремонтом, а стратегической инвестицией в его будущее.
2. Обновление технологической базы позволит существенно повысить экономические показатели судна, продлить срок его активной службы и укрепить позиции предприятия на внутреннем и внешнем рынках рыбной продукции.

Литература

1. *Иванов А.В., Петров К.С.* Современные тенденции технического перевооружения рыбопромыслового флота // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). – 2022. – Т. 190. – С. 5–18.
2. *Сидоров Д.Л.* Продовольственная безопасность России: роль рыбного хозяйства // Проблемы национальной стратегии. – 2021. – № 4(67). – С. 35–52.
3. Официальный сайт Федерального агентства по рыболовству (Росрыболовство). – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fish.gov.ru>.
4. *Волков А.Н., Козлов В.П.* Экономическая эффективность глубокой переработки водных биоресурсов на промысловых судах // Экономика и управление в рыбном хозяйстве. – 2023. – № 1(48). – С. 22–30.

УДК 681.5.017:621.313

В.О. Шиян¹, М.А. Мищенко^{1,2}, В.А. Васькин²

¹ *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003;*

² *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Паратунка, 684034
e-mail: micle@ikir.ru*

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ В РАМКАХ СОЗДАНИЯ УЧЕБНОГО СТЕНДА НА БАЗЕ ПЛК SIEMENS*

В настоящее время автоматизированные информационно-управляющие системы находят применение во всех отраслях современной деятельности. Однако в условиях динамично развивающегося рынка остро стоит проблема подготовки квалифицированных специалистов, способных эффективно эксплуатировать данные системы на производствах. В статье рассматривается вопрос разработки учебного стенда, предназначенного для изучения автоматизированных систем. В качестве основы для создания стенда предлагается использовать оборудование фирмы Siemens. В качестве объекта управления представлен двигатель постоянного тока с обратной связью. Аппаратная часть системы управления представлена программируемым логическим контроллером Siemens 200 серии в силу своей простой и понятной архитектуры. Программная часть системы представлена специализированным пакетом step7-microWin (для программирования контроллера) и средой Protool (для создания интерактивного приложения с элементами управления). В работе представлены принципиальные схемы подключения оборудования, алгоритмы работы системы, внешний вид виртуальной HMI-панели. Данная статья носит практический ознакомительный характер для студентов и начинающих специалистов, изучающих применение промышленных контроллеров на водном транспорте и в рыбной промышленности.

Ключевые слова: промышленный логический контроллер, CPU 224XP, электродвигатель, система управления, учебный стенд.

V.O. Shiyani¹, M.A. Mishchenko^{1,2}, V.A. Vaskin²

¹ *Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003;*

² *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, FEB RAS,
Paratunka, 684034
e-mail: micle@ikir.ru*

SOME FEATURES OF ELECTRIC MOTOR CONTROL SYSTEM WITH FEEDBACK DEVELOPMENT AS A PART OF A TRAINING STAND DESIGN BASED ON A SIEMENS PLC

Currently automated information and control systems are used in all sectors of modern activity. However, in a dynamically developing market, the problem of training qualified specialists capable of effectively operating these systems in production is acute. The development of a training setup designed for studying automated systems is considered. Siemens equipment is proposed as the basis for creating the setup. A DC motor with feedback is presented as the control object. The hardware of the control system is represented by a Siemens 200 series programmable logic controller due to its simple and understandable architecture. The software of the system is represented by a specialized step7-microWin package (for programming the controller) and the Protool environment (for creating an interactive application with control elements). The basic equipment connection diagrams, system operating algorithms and the appearance of a virtual HMI panel are presented. This article is of a practical introductory nature for students and beginners studying the use of industrial controllers in water transport and the fishing industry.

Key words: industrial logic controller, CPU 224XP, electric motor, control system, training stand.

* Работа выполнена в рамках Соглашения между ИКИР ДВО РАН и ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» о создании интегративной кафедры «Системы управления» от 15.10.2024.

Современные автоматические и автоматизированные системы управления и регулирования немислимы без использования промышленных программируемых контроллеров. В связи с этим на рынке труда возникает потребность в квалифицированных специалистах, обладающих навыками работы с подобными системами. Компания Siemens, известная своими разработками в области программируемых логических контроллеров, занимает лидирующие позиции в этой сфере. Продукция данной компании широко распространена на предприятиях и производствах. С учётом вышеизложенного было принято решение о создании учебного стенда на основе контроллера фирмы Siemens. Практические знания, полученные студентами в процессе изучения дисциплин с использованием учебно-лабораторного стенда, будут способствовать повышению их конкурентоспособности на рынке труда.

Целью настоящей работы является повышение качества обучения студентов кафедры «Системы управления» дисциплине «Современные микроконтроллерные системы». Работа направлена на разработку аппаратно-программного стенда на базе программируемого логического контроллера Siemens S7-200 для проектирования систем управления электродвигателем постоянного тока с обратной связью. Использование контроллера Siemens 200 серии обусловлено его простой и понятной архитектурой, а также максимально простым и удобным разработанным для него специализированным программным обеспечением, что способствует максимально быстрому начальному погружению студента в область программирования промышленных контроллеров.

Аппаратно-программная реализация. Разработан аппаратно-программный учебный стенд, состоящий из автоматизированного рабочего места (АРМ), программируемого логического контроллера (ПЛК) и электродвигателя постоянного тока с обратной связью. Блок-схема учебного стенда представлена на рис. 1.

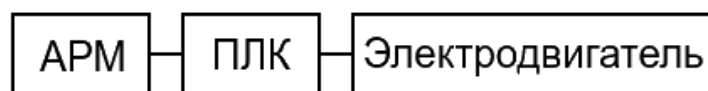


Рис. 1. Блок-схема учебного стенда

В качестве автоматизированного рабочего места выступает виртуальный НМИ-интерфейс, развернутый на персональном компьютере и реализующий функции внешнего управления. В качестве управляющего устройства применяется ПЛК Siemens SIMATIC S7-200 (модуль CPU 224XP). В качестве электродвигателя постоянного тока с обратной связью используется компьютерный 4-пиновый вентилятор. Управление вентилятором реализуется при помощи ШИМ-сигнала, а для обратной связи вентилятор выдает два импульса за один полный оборот. Эти сигналы (управления и обратной связи) необходимо согласовывать по напряжению с входами/выходами ПЛК.

В качестве контроллера используется модуль CPU 224XP, который имеет оптимальные характеристики для дальнейшей модернизации и усложнения функционала учебного стенда [1]. На рис. 2 представлена схема подключения электродвигателя к контроллеру. Напряжение питания 24 В постоянного тока используется для контроллера, 12 В – для питания вентилятора. Напряжение питания 5 В необходимо для формирования сигнала управления (ШИМ-сигнала) вентилятором, уровень которого должен быть в диапазоне 0,8–5 В. Частота сигнала должна лежать в интервале 21–27 кГц, степень заполнения 20–100%. ШИМ-сигнал с цифрового выхода Q0.0 контроллера подается через блок согласования (рис. 2, Amplifier 1) на 4-й пин вентилятора. Уровень напряжения сигнала обратной связи (тахометра) от вентилятора составляет 5 В. Сигнал тахометра (3-й пин) вентилятора подается через блок согласования (рис. 2, Amplifier 2) на цифровой вход контроллера I0.0. Вентилятор генерирует импульсы, частота которых пропорциональна скорости его вращения.

На рис. 3 представлена схема взаимодействия аппаратно-программного обеспечения учебного стенда. Персональный компьютер (ПК), используемый для разработки программного обеспечения для ПЛК, а также для управления и мониторинга его работы, подключается к нему при помощи специализированного кабеля PPI Multi-Master, который обеспечивает высокоскоростную и надежную передачу данных между устройствами.

Разработка программы для ПЛК происходит в среде Step7 Micro/WIN. Данное приложение позволяет создавать, редактировать, а также производить отладку программных проектов.

Приложение позволяет использовать языки программирования ПЛК стандарта IEC 61131-3 (Ladder, FBD, STL) [2–4].

Для организации взаимодействия между программным обеспечением ПЛК и приложениями для разработки графического интерфейса используется технология OPC-сервера. Создание OPC-сервера осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения, разработанного компанией Siemens (S7-200 PC Access). Использование технологии OPC-сервера позволяет упростить обмен данными внутри проектируемой автоматизированной системы управления. Для проектирования, разработки и реализации оптимального внешнего вида АРМ (интерфейса виртуальной HMI-панели) используется среда ProTool/Pro от компании Siemens [5]. Также ProTool/Pro позволяет скачивать подготовленные проекты интерфейса виртуальной HMI-панели на реальные панели Siemens [6].

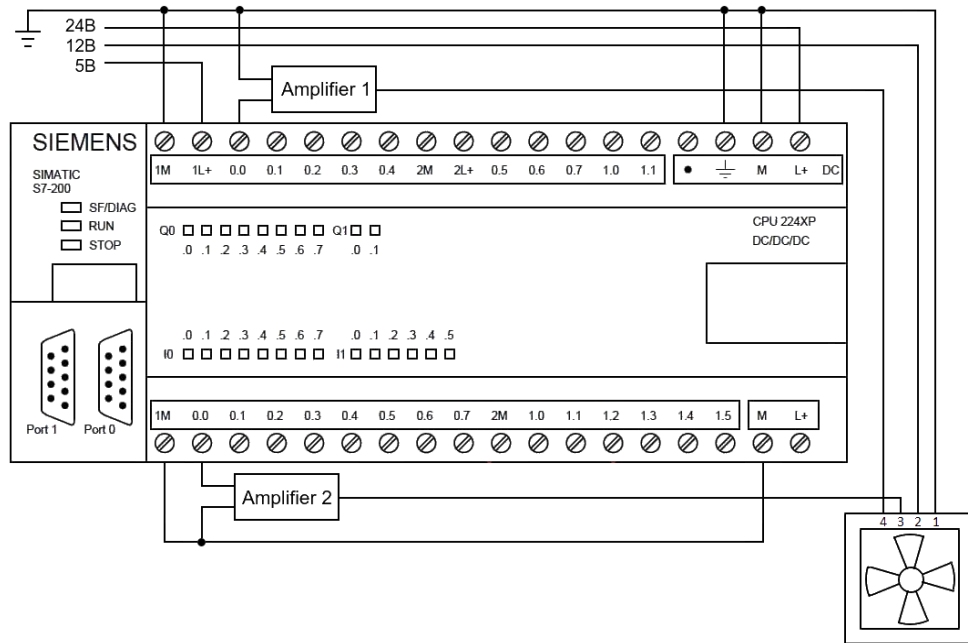


Рис. 2. Электрическая схема подключения электродвигателя к модулю CPU 224XP

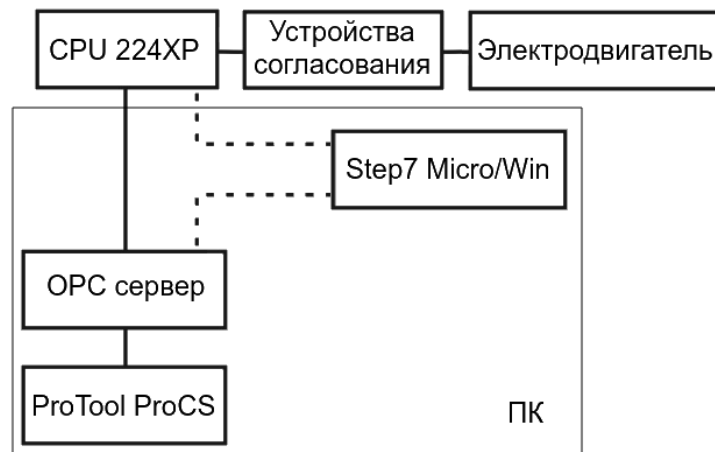


Рис. 3. Схема взаимодействия аппаратно-программного обеспечения учебного стенда

На схеме (рис. 3) видно, что программа, созданная в среде Step7 Micro/WIN, загружается непосредственно в ПЛК и OPC-сервер, после чего необходимость в данной программе отпадает и ее можно выключить. Обмен данными в схеме происходит в оба направления параллельно, получая сигналы от электродвигателя, ПЛК передает их в OPC-сервер, там по средствам взаимосвязей и тегов эти данные передаются в интерфейс HMI-панели, где мы можем отслеживать и управлять ими, посылая новые данные обратно.

На рис. 4 представлены блок-схемы обобщенных алгоритмов управления, реализованных для ПЛК.

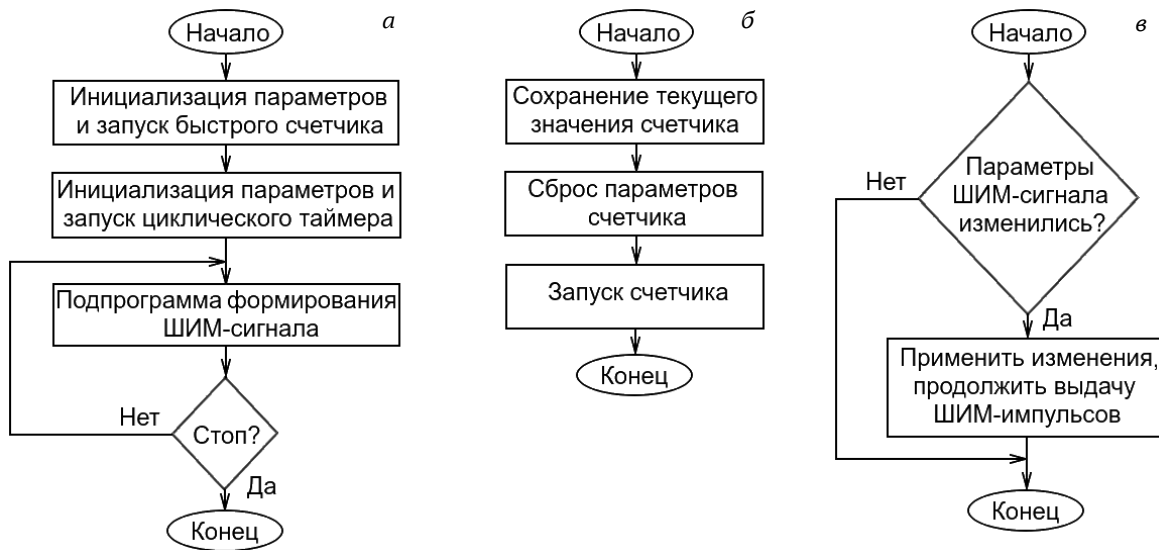


Рис. 4. Блок-схемы обобщенных алгоритмов управления, реализованных для ПЛК:
 а – алгоритм основной программы MAIN; б – алгоритм подпрограммы INT_0
 обработки прерывания циклического таймера; в – алгоритм подпрограммы формирования ШИМ-сигнала

При запуске системы выполняется основная программа MAIN (рис. 4, а). После нажатия кнопки СТАРТ происходит инициализация параметров быстрого счетчика и циклического таймера. При этом в параметрах таймера событию 10 (его прерыванию) назначается подпрограмма обработки прерывания INT_0 (рис. 4, б). Данная подпрограмма запускается каждые 0,25 секунды и сохраняет текущее значения счета, обнуляет счетчик и перезапускает его. Подпрограмма формирования ШИМ-сигнала в алгоритме основной программы постоянно выполняется внутри машинного цикла CPU-контроллера. Остановка выполнения подпрограммы возможна при нажатии кнопки сброса на HMI-панели управления.

На рис. 5 приведен интерфейс виртуальной HMI-панели управления. При помощи бегунков CYCLE и PULSE можно изменять параметры ШИМ-сигнала (период импульса в миллисекундах и время его включения в процентах, соответственно). На спидометре в реальном времени выводится скорость вращения вала электродвигателя, а на графике запись ее изменений во времени.

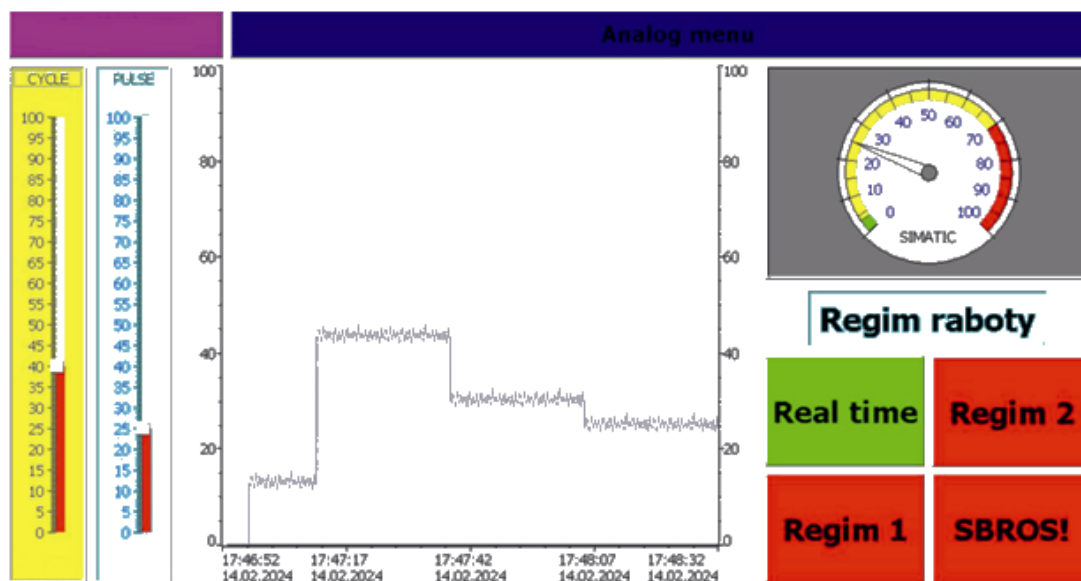


Рис. 5. Интерфейс программы управления на виртуальной HMI-панели

Процесс программирования и настройки автоматизированных систем на ПЛК фирмы Siemens не имеет существенных отличий от настройки аналогичного оборудования других зарубежных и отечественных производителей. Поэтому навыки, полученные студентами на данном учебном стенде, можно использовать на оборудовании других производителей.

В процессе проектирования, реализации и последующего использования учебного стенда студентами были освоены (и планируется освоить) несколько отдельных тем по дисциплине «Современные микроконтроллерные системы». Среди них следующие: Схемы подключения внешних устройств к ПЛК Siemens; Организация выдачи импульсов на быстрых выходах; Проектирование быстрых счетчиков для счета импульсов в различных режимах; Технология OPC-сервер для ПЛК Siemens; Разработка виртуальной HMI-панели в среде ProTool/Pro. В процессе обучения на данном учебном симуляторе студенты могут моделировать реальный производственный процесс.

Литература

1. Программируемый контроллер S7-200. Системное руководство: АО Siemens, 06/2004. – 538 с.
2. Агафонов В.Н. Логическое программирование. – М., 2011. – 811 с.
3. Деменков Н.П. Языки программирования промышленных контроллеров: Учебное пособие / Под ред. К.А. Пупкова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 172 с.
4. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.
5. ProTool: Конфигурирование систем на базе Windows. Руководство пользователя: АО Siemens, 12/1999. – 276 с.
6. Устройства человеко-машинного интерфейса OP 73micro, TP 177micro (WinCC flexible). Руководство по работе: АО Siemens, 01/2005. – 196 с.

УДК 629.5.06

О.В. Шликать, В.С. Волков

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: sssssssky@mail.ru*

МОДЕРНИЗАЦИЯ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СУДНА БМРТ «БОРИС ТРОФИМЕНКО»

Материал посвящен исследованию способов модернизации судовой электроэнергетической системы (СЭЭС). Произведен анализ характеристик различных агрегатов, дано описание потенциальных преимуществ модернизированной судовой электроэнергетической системы. Приведена сравнительная таблица дизель-генераторов.

Ключевые слова: дизель-генератор, мощность, конструкция, характеристика.

O.V. Shlikar, V.S. Volkov

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: sssssssky@mail.ru*

UPGRADING SHIP ELECTRICAL POWER SYSTEM OF LARGE REFRIGERATOR TRAWLER “BORIS TROFIMENKO”

The material is devoted to the ways to upgrading ship electrical power system. The analysis of all characteristic of various units was carried out. A description of potential advantage of upgraded marine electrical power system is provided. A comparative table of diesel generators is provided.

Key words: diesel generator, power, construction, characteristic.

В статье проведен анализ проблем эксплуатации устаревшей электроэнергетической системы БМРТ «Борис Трофименко» проекта Д-1305. В качестве ключевого решения предложена замена главных дизель-генераторов 6ЧН 36/45 на современные высокооборотные агрегаты MAN D2862 LE и внедрение системы управления энергетической установкой (PMS). Также приведены подробные технические характеристики и инженерные аспекты реализации проекта. Отображена целесообразность модернизации судна для увеличения рабочего ресурса и повышения его конкурентоспособности.

Российский рыбопромысловый флот, являясь стратегическим активом страны, в значительной степени представлен судами с предельно высоким уровнем износа. К таким судам относится БМРТ «Борис Трофименко» проекта Д-1305. Несмотря на проведенные ремонты, его базовая электроэнергетическая инфраструктура, заложенная в 80-х годах прошлого века, не соответствует современным требованиям.

Эксплуатация таких судов сопряжена с чрезмерно высокими операционными расходами, что ставит под сомнение их рентабельность. Ужесточение международных экологических стандартов, в частности введение ИМО Tier III для особых зон контроля выбросов (ЕСА), создает прямые операционные ограничения, запрещая или значительно повышая стоимость работы в этих акваториях. В таких условиях модернизация СЭЭС переходит из категории капитального ремонта в категорию стратегических инвестиций, направленных на сохранение и повышение стоимости флота.

Целью работы является технико-экономическое обоснование модернизации СЭЭС БМРТ «Борис Трофименко» с заменой дизель-генераторов на модель MAN D2862 LE и оценка получаемых преимуществ [1, 2].

Технические характеристики существующих дизель-генераторов: Электроэнергетическая система БМРТ «Борис Трофименко» базируется на трех главных дизель-генераторах 6ЧН 36/45.

Тип двигателя: четырехтактный, бескомпрессорный, с наддувом, реверсивный.

Номинальная мощность: 1 000 кВт.

Напряжение: 380 В.

Частота: 50 Гц.

Частота вращения: 500 об/мин.

Удельный расход топлива: 215–225 г/кВт·ч.

Экологический класс: Не соответствует современным стандартам ИМО.

Высокий удельный расход топлива напрямую влияет на себестоимость промысла. При годовом расходе топлива на генерацию ~1 000 тонн, перерасход по сравнению с современными аналогами составляет 50–70 тонн в год [2].

Двигатели не соответствуют нормам ИМО Tier III, что закрывает доступ в акватории Балтийского и Северного морей и побережья Северной Америки, ограничивая операционную гибкость судовладельца.

Двигатели требуют частого и трудоемкого обслуживания. Высокий расход смазочного масла и дорогостоящие запчасти увеличивают стоимость владения.

Конструкция двигателя прошлого века приводит к занятию значительного полезного объема машинного отделения.

Локальное механическое управление не позволяет интегрировать агрегаты в единую систему оптимизации энергопотребления.

После анализа характеристик (таблица) в качестве оптимального решения была выбрана модель MAN D2862 LE.

Сравнительный анализ ДГ

Параметр	6ЧН 36/45 (Г-62)	MAN D2862 LE	Преимущество / Эффект
Уд. расход топлива	~220 г/кВт·ч	~191 г/кВт·ч	Снижение на ~13%
Скорость вращения	500 об/мин	1 500 об/мин	Меньшие габариты и вес
Экокласс	-	ИМО Tier III	Доступ в любые районы
Габариты	5 000×1 800×2 500 мм	3 500×1 300×1 900 мм	Высвобождение пространства
Масса	~20 000 кг	~7 500 кг	Снижение нагрузки на фундамент
Система управления	Механическая	Electronic Management Device	Полная интеграция в PMS, самодиагностика
Ресурс до капремонта	40 000–50 000 ч	> 72 000 ч	Снижение жизненного цикла затрат

Выбор в пользу MAN D2862 LE очевиден, благодаря оптимальному сочетанию мощности, выдающимся показателям топливной экономичности, компактности, наличию встроенной системы управления EMD и отработанной технологии достижения стандарта ИМО Tier III.

Предложенный проект комплексной модернизации СЭЭС БМРТ «Борис Трофименко» с применением дизель-генераторов MAN D2862 LE является технически обоснованным и экономически целесообразным решением. Несмотря на первоначальные инвестиции и некоторые конструкционные сложности при замене дизель-генераторов, проект позволяет кардинально решить накопленные проблемы:

- достигается значительное снижение эксплуатационных расходов за счет высокой топливной эффективности новых двигателей;
- обеспечивается соответствие более строгим экологическим стандартам, что снимает ограничения на работу в акваториях ЕСА и будущие запреты;
- повышается общая надежность и живучесть судна за счет внедрения системы автоматического управления PMS;
- создается возможность дальнейшего беспрепятственного эксплуатации судна: модернизированная СЭЭС позволяет эксплуатировать судно еще несколько десятилетий.

Таким образом, модернизация является не затратами на ремонт, а стратегической инвестицией в основной актив, выводящей его на качественно новый уровень эксплуатационной и экономической эффективности.

Литература

1. *Ваньшин В.Н.* Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. – М.: Моркнига, 2018. – 312 с.
2. *Вешкельский С.А.* Справочник судового дизелиста. Вопросы и ответы. – Л.: Судостроение, 1990. – 368 с.

УДК 620.19:629.5.023

Д.П. Ястребов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МОРСКИХ СУДОВ

Статья посвящена автоматизации процесса контроля работоспособности антикоррозионной защиты корпусов морских судов и их энергетических установок при помощи современного программно-аппаратного комплекса. Методики, описанные в действующих инструкциях, регламентирующей и нормативно-технической документации, ориентированы на использование ручного режима измерений, что сопряжено с высокой вероятностью ошибок из-за неподготовленных операторов, что также требует актуализации процедуры контроля состояния антикоррозионной защиты корпусов морских судов. Более того, на судах отсутствует специализированная служба и должность для контроля антикоррозионной защиты, а ручные измерения отличаются значительной трудоемкостью и временными затратами. В связи с этим, возникла необходимость разработки автоматизированной измерительной системы, которая позволит улучшить точность и эффективность контроля. В результате выполнения исследования авторами предложена конструкция современной автоматизированной измерительной системы на базе популярной платформы Raspberry Pi, которая позволяет не только автоматизировать процесс контроля проекторной защиты. Для удобства проведения измерений в лабораторных и натуральных условиях было разработано два варианта системы с разной степенью функциональности и мобильности.

Ключевые слова: коррозионная защита корпусов судов, протекторная защита судов, эффективность работы защиты от коррозии судов, защитный потенциал, автоматизированная система контроля протекторной защиты.

D.P. Yastrebov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

IMPROVEMENT OF AUTOMATED MEASURING SYSTEM FOR MONITORING SEA VESSEL CORROSION PROTECTION PERFORMANCE

This article focuses on automating the process of monitoring the performance of anti-corrosion protection on the hulls of sea vessels and their power plants using a modern hardware and software system. The methods described in current instructions, regulatory and normative-technical documentation rely on manual measurement, which is associated with a high probability of errors due to untrained operators. This also requires updating the procedure for monitoring the condition of anti-corrosion protection on sea vessel hulls. Furthermore, ships lack a specialized service or position for monitoring anti-corrosion protection and manual measurements are labor-intensive and time-consuming. Therefore, it became necessary to develop an automated measurement system that would improve the accuracy and efficiency of monitoring. As a result of the study it is proposed to design a modern automated measurement system based on the popular Raspberry Pi platform, which not only automates the process of monitoring projector protection. To facilitate measurements in laboratory and field conditions, two system versions with varying degrees of functionality and mobility were developed.

Key words: corrosion protection of ship hulls, protective protection of ships, efficiency of ship corrosion protection, protective potential, automated protection control system.

Современные морские суда изготавливаются из стали и металлических сплавов, подверженных коррозии от длительного воздействия окружающей среды, что наносит вред корпусу, механизмам и другим элементам судна. Корпус судна и механизмы судовой энергетической установки

(далее – СЭУ), контактирующие с агрессивной средой, особенно уязвимы, а их надежность критически важна для безопасности судна и экипажа. Для борьбы с коррозией используются лакокрасочные покрытия и системы электрохимической защиты (далее – ЭХЗ), включая протекторную защиту. Согласно нормативно-технической документации – ГОСТ 9.056-75 и РЭК-НК-01, экипажи должны контролировать работоспособность протекторной защиты судов с помощью хлорсеребряного электрода сравнения (ХСЭ) [1, 2]. Однако существует расхождение в допустимых значениях разности потенциалов между ХСЭ в разных источниках, что требует проведение дополнительных исследований и разработки удобных диагностических устройств для судов. Существующие на сегодняшний день технические средства диагностирования работоспособности коррозионной защиты, как правило, базируются на ручном методе контроля. Но ручные исследования у экипажей судов вызывают трудности, также стоит учитывать риск возникновения ошибки из-за человеческого фактора. Основные причины данных недостатков – отсутствие доступных средств автоматизированного контроля и методик измерений, недостаточная компетенция экипажей в данной области. Методики, описанные в действующих инструкциях, регламентирующей и нормативно-технической документации, ориентированы на использование ручного режима измерений, что сопряжено с высокой вероятностью ошибок из-за неподготовленных операторов, что также требует актуализации процедуры контроля состояния антикоррозионной защиты корпусов морских судов. Более того, на судах отсутствует специализированная служба и должность для контроля антикоррозионной защиты, а ручные измерения отличаются значительной трудоемкостью и временными затратами. В связи с этим возникла необходимость разработки автоматизированной измерительной системы (далее – АИС), которая позволит улучшить точность и эффективность контроля. Главное направление исследований, рассмотренных в данной статье, – автоматизация контроля измерений антикоррозионной защиты с помощью разрабатываемого устройства

Цель статьи – разработать АИС для оценки работоспособности коррозионной защиты корпусов и элементов энергетических установок судов, которая обеспечит более высокую точность и эффективность контроля по сравнению с существующими ручными методами при существующем уровне компетенций в данной области экипажей судов.

Разработанная авторами АИС позволяет фиксировать результаты диагностирования работоспособности коррозионной защиты корпуса и элементов СЭУ судна, выводить их на экран и хранить данные на карте памяти за любой период, который необходим для анализа оператором. Получить и вывести информацию можно, используя возможности самой АИС (USB-накопитель внешний, flash-память устройства или карта microsd) или внешней ЭВМ. Для достижения поставленной цели разработки и создания лабораторного прототипа АИС было закуплено оборудование и комплектующие на сумму 90 050 руб. (таблица).

Расходы на оборудование

Наименование	Цена (руб.)
Микроконтроллер Raspberry Pi (в комплекте)	44 000
Экран LCD12864 HDMI (3.3V Blue Backlight)	5 100
Аккумуляторные батареи DEXP Power-EG 12V 1.2Ah и блоки питания ARPV-12200-B1 (12V, 16.7A, 200W) (Arlight, IP67, металл)	21 450
Расходы на комплектующие (разветвители, кнопки (ТС-12ЕТ), провода, соединители, клеммы, наконечники, коробки влагозащищенные IP, адаптеры, колодки, гильзы, СИЗ и соединительные устройства)	19 500
<i>Итого</i>	<i>90 050</i>

После сборки, настройки и проверки программного обеспечения (ПО) для работы микроконтроллера был проведен ряд тестов в лабораторных условиях по оценке типовых протекторов защиты от коррозии с одновременными экспресс-испытаниями на надежность работы (безотказность) элементной базы АИС. После устранения выявленных недочетов и замечаний в работе АИС были проведены измерения элементов протекторной антикоррозионной защиты корпусов судов в лаборатории Камчатского государственного технического университета. В течение месяца испытывались несколько прототипов системы, после чего была сформирована схема АИС версии 1.0, представлена на рис. 1 [3].

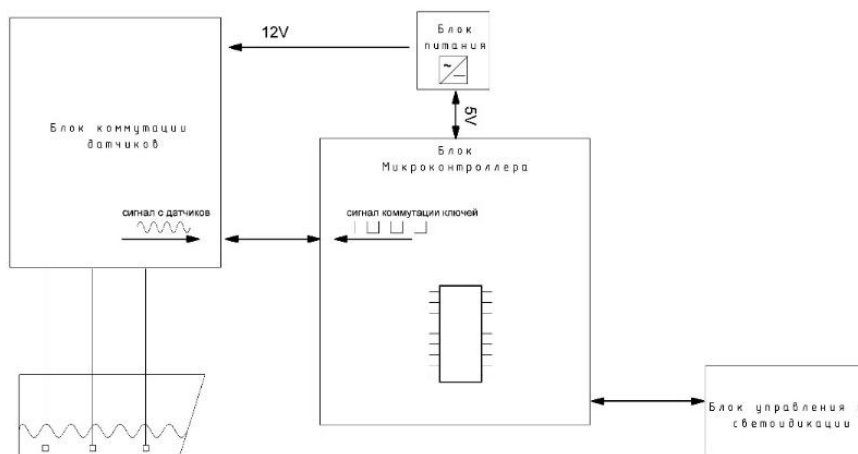


Рис. 1. Структурная схема АИС версии 1.0

Далее была разработана АИС версии 2.0 (рис. 2), которая отличается от версии 1.0 наличием канала передачи данных при помощи сети Wi-Fi. При этом сохраняется возможность получения данных с самой АИС (USB-накопитель внешний, flash-память устройства или карта microSD).

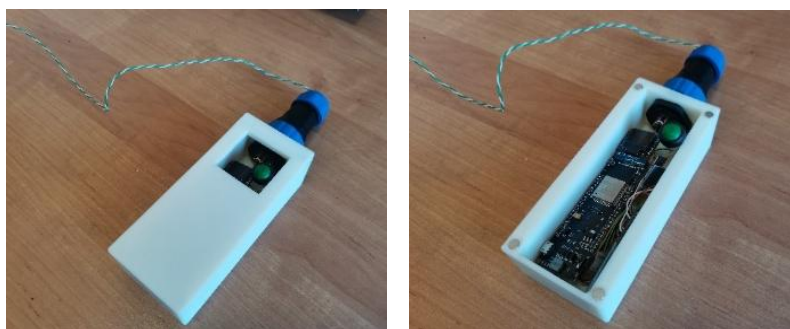


Рис. 2. Переносной экспериментальный образец АИС версии 2.0

В настоящее время только дорогостоящие зарубежные аналоги, где нужно докупать отдельные блоки телеметрии или модули беспроводной связи, могут осуществлять дистанционную передачу данных. Инновацией предлагаемой разработки АИС является возможность использования любого количества и типов электродов сравнения. Достоинством АИС является возможность использования ее в агрессивной морской среде.

Из рис. 3 видно, что показания с электродов сравнения (ЭХЗ) поступают на блок коммутации и далее на блок микроконтроллера. Дополнительно в АИС версии 2.0 был добавлен текстовый дисплей для осуществления фактического контроля и поверки оператором. Также был добавлен блок внешней памяти, на который осуществляется запись всех результатов контроля со всех электродов с фиксацией номера контрольного измерения, времени, точки контроля на объекте исследования и наименование самого электрода. При помощи блока управления проработана функция управления в реальном времени параметрами и возможность изменять параметры методики контроля.

Переключение измеряемого электрода осуществляется с помощью блока коммутации, который был доработан под нужды лабораторной установки. Более подробно конструкция и принцип работы лабораторного образца представлены в работах [4–11]. Для повышения надежности соединений и удобства при эксплуатации в натуральных условиях были добавлены блоки коммутации с помощью включения специальных блок-схем. На рис. 4 представлена схема электрическая принципиальная блока коммутации, состоящая из шести электромеханических реле.

Сигнал на включение реле подает плата управления в момент, когда происходит измерение величины потенциала датчиков. Сигнал с платы управления с напряжением 5 В подается на затвор полевого транзистора, который коммутирует цепь питания реле, независимую от питания основной платы. На рис. 5 представлена схема платы управления АИС, которая имеет свободные выходы для подключения дополнительных реле.

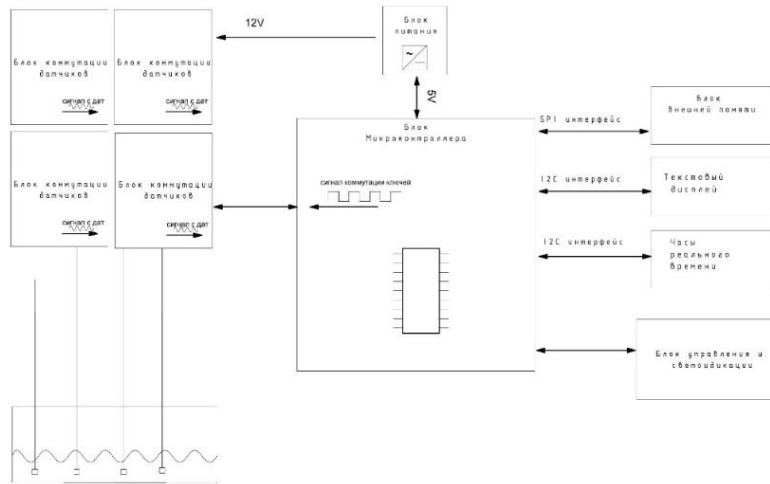


Рис. 3. Структурная схема АИС версии 2.0

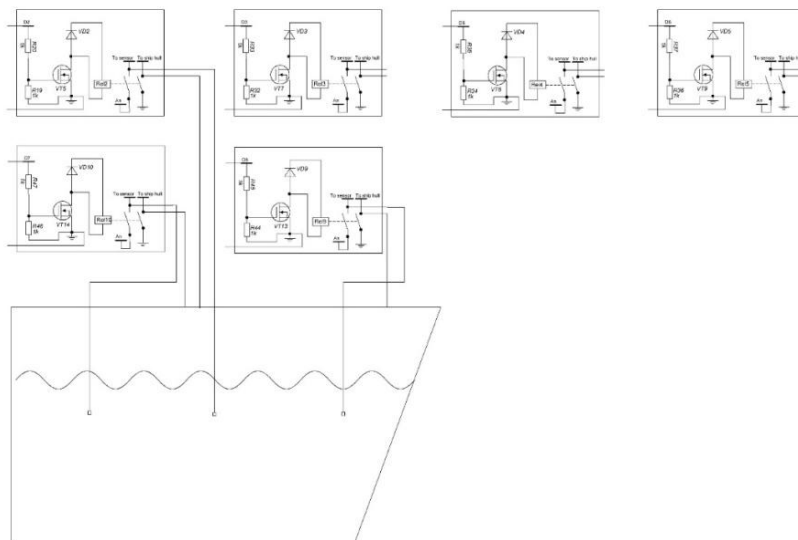


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная устройства коммутационной части АИС

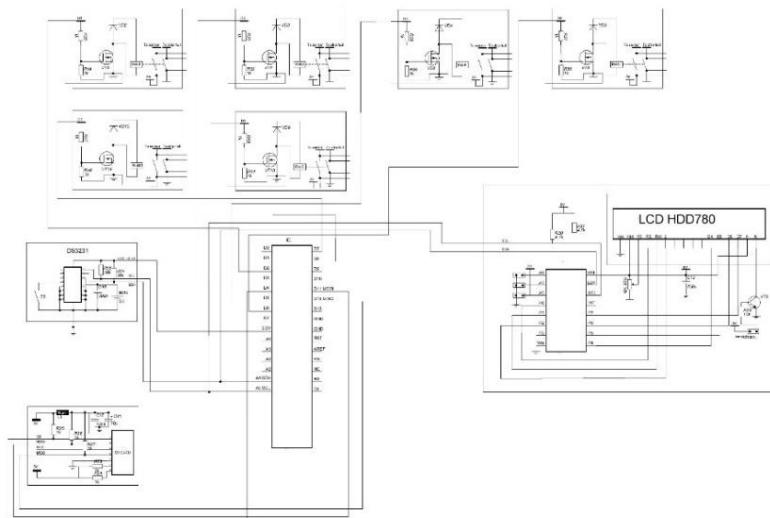


Рис. 5. Схема электрическая принципиальная устройства главной платы АИС

Разработанная АИС удовлетворяет требованиям эффективного диагностирования и уменьшает трудозатраты, которые возникали при ручном способе контроля. Она может использоваться как портативная или стационарная система (в зависимости от комплектации и задач) для автоматизированного контроля технического состояния антикоррозионной защиты корпусов морских судов и элементов защиты СЭУ. АИС может осуществлять проверку элементов ЭХЗ, таких как протекторы, состояние судового стального корпуса и качество выполненного докового ремонта, а также качество поставляемых с заводов готовых протекторов для установки на строящихся судах или ремонтируемых. Основной целью исследования являлась совершенствование технического обеспечения операторов контроля, упрощение процесса диагностики и снижение трудозатрат, и цель была достигнута. Дальнейшее направление исследований – использование электродов альтернативных конструкций и состава, что обеспечит достаточную точность и надежность при снижении эксплуатационных затрат. Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение методов непрерывного мониторинга состояния антикоррозионной защиты морских конструкций для повышения безопасности на море.

Литература

1. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите. Введ. 1976-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 20 с.
2. РЗК-НК-01. Руководство по защите корпусов наводных кораблей ВМФ от коррозии и обрастания. – М.: Военное изд-во, 2001. – 258 с.
3. Разработка автоматизированной системы контроля протекторной защиты корпусов рыбопромышленных судов / О.А. Белов, Д.П. Ястребов, А.О. Рогожников, В.А. Швецов, С.А. Зайцев, Б.В. Тарабанов // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы XI Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 24–25 марта 2020 г.). – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. – С. 82–85.
4. О выборе электродов для контроля систем протекторной защиты стальных судов и кораблей / Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2019. – Вып. 4. – С. 39–45.
5. О целесообразности использования хлорсеребряных электродов для контроля систем протекторной защиты стального корпуса судна / Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, А.П. Ушакевич, Г.В. Кузнецов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. – С. 121–124.
6. К вопросу использования цинковых электродов для контроля протекторной защиты судов и кораблей / Д.П. Ястребов, Д.В. Шунькин, А.О. Рогожников, Г.В. Кузнецов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2021. – Вып. 2. – С. 16–23.
7. К вопросу использования стальных пластин для контроля протекторной защиты корпусов судов и кораблей / Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина, С.А. Зайцев // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2020. – С. 125–129.
8. К вопросу использования электродов из судокорпусной стали для контроля защищенности от коррозии корпусов судов и кораблей / Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, Б.В. Тарабанов, С.А. Зайцев // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2020. – С. 15–21.
9. К вопросу использования алюминиевых электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей / Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, А.П. Ушакевич, Г.В. Кузнецов, Б.В. Тарабанов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2021. – Вып. 3. – С. 23–32.
10. Ястребов Д.П. К вопросу использования медных электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2021. – Вып. 4. – С. 43–51.
11. Ястребов Д.П. К вопросу изготовления цинковых электродов сравнения для морских судов и кораблей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 4. – С. 38–46.

УДК 681.5.017:629.5.06

Д.П. Ястребов, Д.Р. Калюжный

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ МАКЕТА ЛЕБЕДКИ

В статье рассматривается процесс разработки и сборки механической части учебного макета лебедки, предназначенного для демонстрации возможности создания макетов, не требующих больших материальных и финансовых затрат, ведь многие учебные макеты и стенды очень дорогие и сложные в обслуживании. В частности, данный макет показывает основы теоретической механики, принципы работы механизмов и их проектирования. Особое внимание уделяется простоте разработки, требованиям к макету в сфере безопасности, материалам и качеству его тестирования. Рассматриваются возможные области применения макета в учебной практике, а также возможности его модификации и адаптации под дальнейшие задачи. Представленные результаты могут послужить в качестве наглядного примера, который позволит студентам лучше понимать принцип создания и работы механизма, а также усвоить практические навыки проектирования и обслуживания подобных устройств, не испытывая при этом больших затруднений.

Ключевые слова: учебный стенд, эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматизации, практическая подготовка, автоматизация.

D.P. Yastrebov, D.R. Kalyuzhny

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

WINCH MODEL MECHANICAL PART DEVELOPMENT

This article examines the development and assembly of the mechanical components of a training winch model, designed to demonstrate the feasibility of creating models that do not require significant material and financial investment. Many training models and setups are very expensive and difficult to maintain. Specifically, this model demonstrates the fundamentals of theoretical mechanics, the operating principles of mechanisms, and their design. Particular attention is paid to the ease of development, safety requirements for the model, materials, and the quality of its testing. Potential applications of the model in educational practice are discussed, as well as the possibilities for its modification and adaptation for future educational tasks. The presented results can serve as a visual example that will allow students to understand the mechanism's design and operation better, as well as to acquire practical skills in design and maintenance of similar devices without significant difficulties.

Key words: training stand, operation of ship electrical equipment and automation systems, practical training, automation.

Лебедка является одним из самых древних механизмов, которые изобрели и применили люди в своей деятельности для облегчения перемещения тяжестей. Тяговое усилие, создаваемое за счет мускульной силы человека или животного, передается через канат, цепь, трос или иной гибкий элемент от приводного барабана к тому грузу, который надо передвинуть, – это принцип работы самой простой, ручной лебедки. Согласно собранной информации, привод барабана лебедки может быть ручным, электрическим и гидравлическим, реже бывают работающие от ДВС и от паровой машины. Чаще лебедку используют для вертикального подъема груза. Но иногда с помощью этого механизма удобно перемещать тяжести по горизонтали (траловая лебедка на рыболовецких судах). Лебедка представляет собой устройство, изучение принципов работы и проектирования которого играет важную роль в подготовке специалистов в области инженерии, автоматизации и робототехники.

Существует много разновидностей лебедок. Их можно различать:

- по способам изготовления – промышленные и самодельные;
- по виду привода – ручные, электрические, паровые, с двигателем внутреннего сгорания, гидравлические;
- по величине развиваемого усилия – мощные, маломощные.

Возможны комбинации в различных сочетаниях. Каждый вид имеет свои преимущества и недостатки. Ручная лебедка является основой для всех последующих видов лебедок, при модернизации которых добавлялись разные виды двигателей от электрических до гидравлических [1]. Изготовить проще всего ручную лебедку, она дешевая и компактная, но развить большую мощность она не сможет [2]. Максимальный вес груза, который она может поднять, не превышает 1 тонну. Электрическая лебедка развивает большую мощность, по сравнению с ручной, но сложнее по конструкции из-за появления в ней электрического двигателя. Гидравлические лебедки являются самыми мощными из вышеперечисленных, но в то же время и самыми сложными по конструкции и имеют низкую эксплуатационную надежность. Поэтому будем рассматривать в данной статье именно электрическую лебедку, так как она является золотой серединой между мощностью и надежностью [3].

Основной целью данной статьи является рассмотрение и разработка механической составляющей учебного макета лебедки, который в свою очередь поможет в дальнейшем разрабатывать больше доступных макетов для учебных задач. Ведь многие учебные макеты и стенды очень дорогие и сложные в обслуживании. Представленные результаты могут послужить в качестве наглядного примера, который позволит студентам лучше понимать принцип создания и работы данного механизма, а также приобрести практические навыки проектирования и обслуживания подобных устройств, не затрачивая при этом больших средств.

Для выполнения указанной задачи требуется рассмотреть принцип работы лебедки и конструктивные различия ее типов. Также ознакомиться с основами 3D-печати и работы в программах для 3D-проектирования, подготовить необходимые материалы и комплектующие, и в дальнейшем собрать и протестировать этот макет. Провести оценку эффективности макета в ходе учебного процесса, что позволит рассмотреть его возможности для улучшения в зависимости от поставленных в будущем задач.

Разработка учебного макета лебедки включает несколько ключевых этапов: проектирование моделей составных частей; обработка материала; сборка и тестирование. Каждый из этих этапов требует тщательной проработки и обоснования.

Первостепенной задачей является анализ существующих типов лебедок, их конструктивных особенностей и преимуществ. Особое внимание уделяется изучению механизмов передачи движения, типов приводов и методов управления. На основе полученных данных создается теоретическая база для разработки макета, а также готовятся технические требования, где формируется спецификация, включающая основные параметры макета, такие как габариты, вес, материалы, используемые механизмы и условия эксплуатации. Требования должны учитывать не только функциональные характеристики, но и эргономические, а также требования безопасности. Макет лебедки и редуктора лебедки представлены на рис. 1.

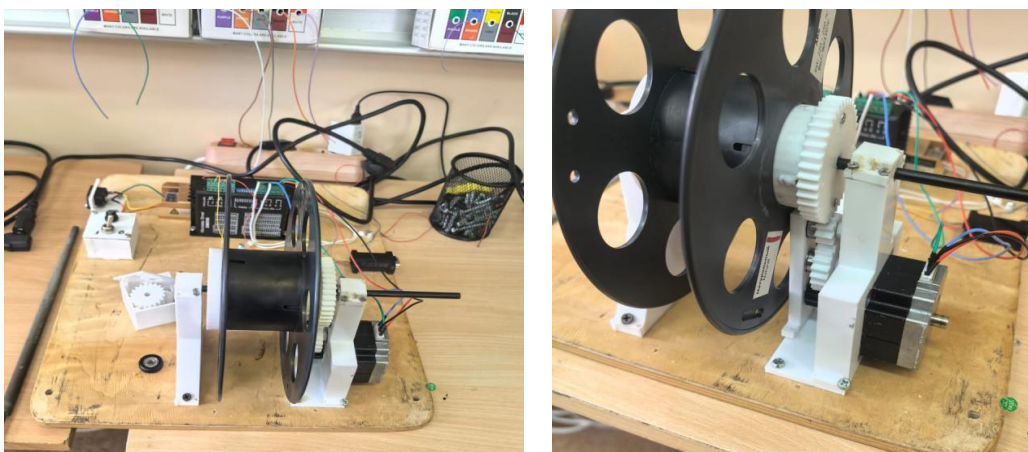


Рис. 1. Макет лебедки и ее редуктора

В соответствии с вышеперечисленными факторами проводится разработка 3D-моделей в программе КОМПАС-3D всех составляющих макета (рис. 1). После окончания разработки моделей производится печать и сборка. С помощью 3D-принтера из прочного ABS-пластика распечатываются все детали механизма. Все узлы, подлежащие вращению, закреплены на подшипниках. Для повышения крутящего момента на валу барабана лебедки в данном макете используется редуктор.

Для расчета передаточных чисел редуктора необходимо брать число зубцов шестерни или ее радиус. Вычисление производится без учета сопротивления:

$$u_{12} = \pm Z_2 / Z_1 \text{ и } u_{21} = \pm Z_1 / Z_2,$$

где u_{12} – итоговый показатель передаточного числа детали;

Z_2 и Z_1 – число зубцов ведущих и ведомых элементов.

Редуктор (рис. 2) помогает разгрузить шаговый двигатель и увеличить вес поднимаемого груза. Он также полностью напечатан на 3D-принтере из ABS-пластика.

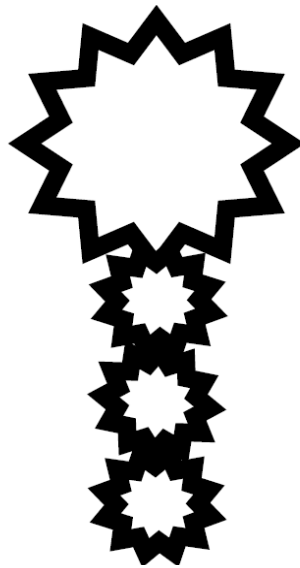


Рис. 2. Принципиальная схема расположения шестерней в редукторе

Далее для правильного расположения шестерней в корпусе редуктора необходимо вычислить пятно контакта всех шестеренок (рис. 3).

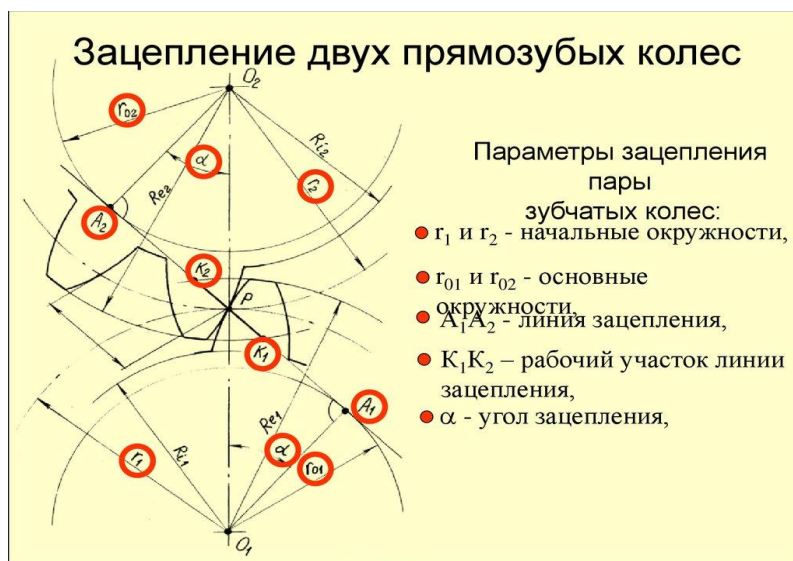


Рис. 3. Схема зацепления двух прямозубых колес

Согласно рис. 4 в качестве главного двигателя был использован шаговый двигатель по типу GD57STH56 размерами 57×56 мм. Шаговый двигатель – это синхронный бесщеточный электродвигатель с несколькими обмотками [4, 5]. При подаче электрического тока на одну из обмоток статора ротор двигателя совершает точное дискретное угловое перемещение (шаг). Шаговые двигатели широко применяются в станкостроении, отлично подходят для автоматизации отдельных узлов, не требующих высокой динамики, имеют относительно низкую стоимость, большой ресурс и нетребовательны в техобслуживании [4, 5]. При разработке макета лебедки использовано небольшое количество распространенных материалов, обеспечивающих его простоту сборки и обслуживания, а также надежность и долговечность.

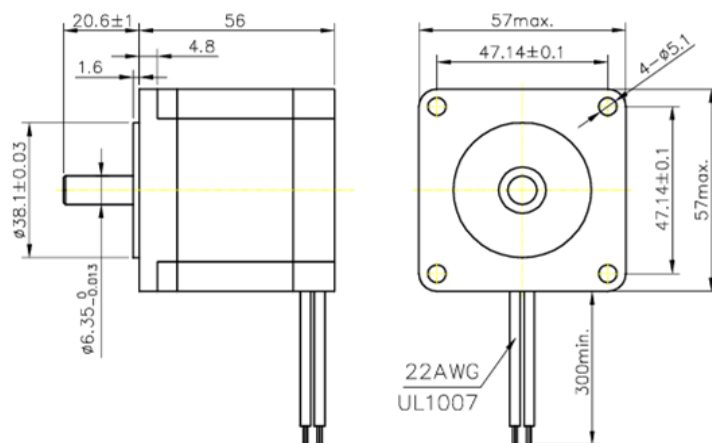


Рис. 4. Схема шагового двигателя GD57STH56

Требования к макету

При разработке учебного макета лебедки был учтен ряд требований, обеспечивающих его эффективность и безопасность [6]. Макет простой и понятный, чтобы позволить учащимся быстрее осваивать принципы его работы. Это достигается за счет использования простой и понятной схемы, а также снижения числа конструктивно сложных элементов. Безопасность является одним из ключевых факторов при разработке макетов для студентов. Все элементы конструкции данного макета надежно закреплены, а подвижные части, по типу редуктора, защищены от случайного контакта. Габариты и конструкция макета обеспечивают удобство его использования в учебных целях, чтобы демонстрировать все основные принципы работы лебедки. Материалы, используемые для изготовления макета, доступные и не требуют специальных условий хранения или эксплуатации. Конструкция макета предусматривает возможность его модификации и адаптации под различные образовательные программы.

Результаты разработки могут быть использованы, как в учебных целях, так и при проведении научных работ. На данном макете могут заниматься обучающиеся как начального уровня, так и продвинутого. Представленные результаты могут послужить в качестве наглядного примера, который позволит студентам лучше понимать принцип создания и работы механизма, а также усвоить практические навыки проектирования и обслуживания подобных устройств, не испытывая при этом больших затруднений. Такой подход позволяет также приобрести необходимые навыки по применению 3D-принтеров как одного из современных направлений в области экспериментальных исследований.

Литература

1. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Эффективное управление пуска наладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11-22.
2. Федоров О.В., Дарьенков А.Б. Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с. – ISBN 978-5-406-04282-3.

3. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / *А.В. Синюков, Т.В. Синюкова, Е.И. Грачева и др.* // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87–98.

4. *Васильев А.П.* Шаговые двигатели в системах автоматизации. – М.: Машиностроение, 2020. – 256 с.

5. *Николаев С.П.* Точные системы позиционирования в промышленной автоматике. – М.: Техносфера, 2022. – 267 с.

6. *Seменов A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V.* The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – Art. № 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.

УДК 519.876.5:621.313.333

Д.П. Ястребов, Д.В. Кочетков

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

В работе представлено исследование трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором, выполненное с применением методов математического моделирования в среде MATLAB/Simulink. Целью исследования являлось создание имитационной модели, позволяющей воспроизводить электромагнитные и электромеханические процессы, протекающие в машине при различных режимах работы – пуске, изменении нагрузки и торможении. Разработанная модель основана на системе уравнений, описывающих взаимосвязь электрических и механических параметров машины, и реализована с использованием библиотеки SimPowerSystems. Проведен анализ зависимостей активной и реактивной мощности, коэффициента мощности и коэффициента полезного действия от нагрузки, а также исследованы переходные процессы. Полученные результаты сопоставлены с теоретическими расчетами, что подтвердило корректность и достоверность модели. Создание и внедрение таких моделей имеет важное практическое значение, поскольку позволяет исследовать опасные и аварийные режимы без риска повреждения реального оборудования. Использование виртуальных стендов способствует повышению безопасности эксплуатации электрооборудования, минимизирует вероятность перегрева обмоток, коротких замыканий и отказов систем защиты при испытаниях.

Ключевые слова: трехфазная асинхронная машина, виртуальная модель, Matlab Simulink, инженерная практика, натурные эксперименты.

D.P. Yastrebov, D.V. Kochetkov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

INVESTIGATION OF A THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MACHINE WITH PHASE ROTOR

This paper presents a study of a three-phase asynchronous motor with a wound rotor, conducted using mathematical modeling methods in the MATLAB/Simulink environment. The aim of the study was to create a simulation model capable of reproducing the electromagnetic and electromechanical processes occurring in the machine under various operating conditions, such as starting, load changes and braking. The developed model is based on a system of equations describing the relationship between the electrical and mechanical parameters of the machine and is implemented using the SimPowerSystems library. The analysis of the dependencies of active and reactive power, power factor and efficiency on load was conducted. The transient processes were investigated. The obtained results were compared with theoretical calculations, confirming the correctness and reliability of the model. The creation and implementation of such models is of great practical importance, as it allows to study hazardous and emergency conditions without risk to damage real equipment. The use of virtual test benches helps to improve the safety of electrical equipment operation, minimizing the winding overheating, short circuits and protection system failures during testing.

Key words: three-phase asynchronous machine, virtual model, Matlab Simulink, engineering practice, natural experiments.

Трехфазные асинхронные двигатели занимают одно из ключевых мест в современной электроэнергетике и промышленной автоматике благодаря их надежности, простоте конструкции и сравнительно невысокой стоимости [1]. Наиболее широкое применение получили двигатели с короткозамкнутым ротором, однако машины с фазным ротором сохраняют высокую актуальность в тех областях, где требуется плавное регулирование пускового момента, ограничение пускового тока и возможность управления скоростью вращения без сложных электронных преобразователей [2–5]. Такие машины по-прежнему применяются в подъемно-транспортных меха-

низмах, горнодобывающем и энергетическом оборудовании, а также в судовых электроприводах, где важна устойчивость к перегрузкам и долговечность эксплуатации. Несмотря на конструктивные достоинства, асинхронные машины с фазным ротором отличаются высокой сложностью расчета переходных процессов, что обусловлено нелинейными взаимосвязями между электрическими и механическими параметрами [6].

Проведение экспериментальных исследований на реальном оборудовании связано с трудностями технического и экономического характера: высокой стоимостью машин, необходимостью обеспечения электробезопасности, а также риском повреждения обмоток и контактов при пусковых и тормозных режимах. В этих условиях математическое моделирование становится эффективным инструментом анализа, позволяющим исследовать процессы в асинхронной машине без необходимости использования физического образца [7–9].

Среда MATLAB/Simulink на протяжении последних десятилетий зарекомендовала себя как универсальная платформа для моделирования электрических машин и электромеханических систем. Благодаря библиотеке SimPowerSystems и встроенным средствам численного анализа она обеспечивает возможность воспроизведения электромагнитных процессов в реальном времени и визуализации результатов с высокой степенью точности.

Подробные методические подходы к моделированию асинхронных машин приведены в трудах А.И. Вольдека и В.В. Попова (2023), И.П. Копылова (2019), а также в современных исследованиях Д.А. Богданова и Е.В. Семёновой (2020), посвященных анализу энергетических характеристик машин различного типа. Отдельное внимание вопросам построения и верификации математических моделей уделено в работах В.П. Дьяконова (MATLAB. Полный курс, 2001) и М.М. Кацмана (Электрические машины и преобразователи, 2020), где подчеркивается значение виртуальных стендов для инженерного образования и проектирования систем электропривода.

Разработка имитационной модели асинхронного двигателя с фазным ротором позволяет не только воспроизводить его основные характеристики, но и исследовать динамику пусковых, нагрузочных и тормозных режимов с учётом параметров ротора и статора. Это создает предпосылки для повышения точности инженерных расчетов, улучшения систем управления и повышения энергоэффективности приводов. Кроме того, моделирование способствует обеспечению безопасной эксплуатации электрооборудования, так как позволяет анализировать аварийные и нештатные режимы без риска повреждения реальных установок.

Этапы выполнения работы:

1. Строится модель для исследования параметров асинхронной машины с фазным ротором. Ключевые параметры берутся из паспортных данных асинхронной машины типа RAM90S4, а именно $P_n = 1,1$ кВт, $n = 1420$ об/мин, $\eta = 77\%$, $\cos\phi = 0,80$, $I_n = 2,6$ А, $k_1 = 5,0$, $m_n = 2,3$, $m_{\max} = 2,6$, $J = 3,4 \cdot 10^{-3}$ кгм². На выход обмоток ротора включено сопротивление блока, где $R_1 = R_2 = R_3$.

2. Остальные блоки остаются без изменения. Снятие механической характеристики в двигательном режиме производится при изменении нагрузочного момента от 0 до 1,5 мин при трех различных значениях сопротивления фазного ротора: R_r ; $+1/3 R_r$; $+2/3 R_r$.

3. Строятся графики зависимостей $w = f(M)$ и $n = f(w)$ для всех значений сопротивления фазного ротора. Значения R_r и R_s заменены между собой.

Модель на рис. 1 включает: источник переменного трехфазного напряжения; трехфазная асинхронная машина (SimPowerSystems); измеритель тока (Measurement); трехфазный измеритель активной и реактивной мощности (Reactive PowerSimPowerSystems); блок RMS для вычисления действующего значения величины; блоки Display для представления измеренных мощностей.

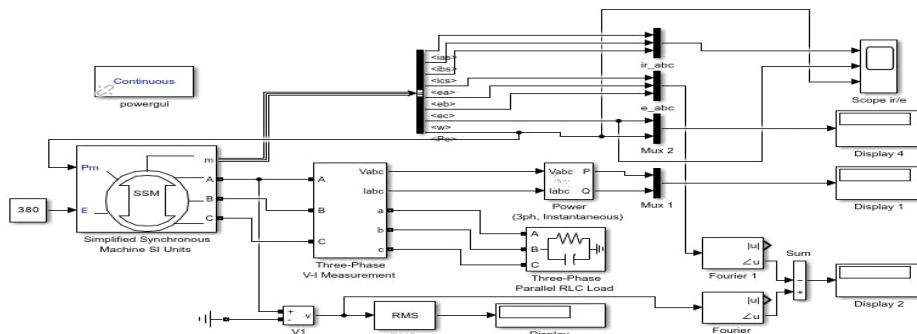


Рис. 1. Модель для исследования характеристик асинхронного электродвигателя с фазным ротором

Представленная таблица описывает три типа нагрузки: *RL*-нагрузка (активно-индуктивная), *RC*-нагрузка (активно-емкостная), *R*-нагрузка (чисто активная).

Три типа нагрузки

S , Вт	P_r , Вт	ω , рад/с	θ , град	M , нм				
0	-	-	-	-				
2 800	2 739	157,1	115,6	17,43475				
5 600	5 403	157,1	111,6	34,39211				
8 400	7 633	157,1	107,7	48,58689				
11 200	9 686	157,1	103,9	61,655				
14 000	11 440	157,1	100,3	72,81986				
16 800	12 917	157,1	96,86	82,22151				
19 600	14 098	157,1	93,74	89,73902				
22 400	15 014	157,1	90,76	95,5697				
RL-нагрузка								
$P_{нагр}$, Вт	$Q_{нагр}$, Вар	ω , рад/с	S , ВА	U_1 , В	$\cos \varphi$	I_a , А	P_r , Вт	Q_r , Вар
2 139	531,3	157,1	2 800	17,14	0,97051	128,5879	2 240	560
4 068	1016	157,1	5 600	32,59	0,970199	128,6577	4 480	1 120
5 776	1442	157,1	8 400	46,26	0,970221	128,6917	6 720	1 680
7 266	1814	157,1	11 200	58,2	0,970221	128,6772	8 960	2 240
8 547	2134	157,1	14 000	68,46	0,970216	128,6792	11 200	2 800
9 633	2402	157,1	16 800	77,15	0,97029	128,6838	13 440	3 360
RC-нагрузка								
$P_{нагр}$, Вт	$Q_{нагр}$, Вар	ω , рад/с	P_r , Вт	U_1 , В	$\cos \varphi$	I_a , А	P_r , Вт	Q_r , Вар
2 269	-567,5	157,1	2 800	19,22	0,970117	121,6905	2 240	560
4 560	-1141	157,1	5 600	38,63	0,970092	121,6822	4 480	1 120
6 822	-1707	157,1	8 400	57,8	0,970092	121,6664	6 720	1 680
9 004	-2253	157,1	11 200	76,27	0,970092	121,6939	8 960	2 240
11 064	-2766	157,1	14 000	93,67	0,970143	121,752	11 200	2 800
12 944	-3238	157,1	16 800	109,6	0,970107	121,7414	13 440	3 360
R-нагрузка								
$P_{нагр}$, Вт	$Q_{нагр}$, Вар	ω , рад/с	P_r , Вт	U_1 , В	$\cos \varphi$	I_a , А	P_r , Вт	Q_r , Вар
2 739	0	157,1	2 800	22,57	1	121,3558	2 800	0
5 403	0	157,1	5 600	43,71	1	123,6102	5 600	0
7 633	0	157,1	8 400	62,92	1	121,3128	8 400	0
9 686	0	157,1	11 200	79,83	1	121,3328	11 200	0
11 440	0	157,1	14 000	94,31	1	121,3021	14 000	0
12 917	0	157,1	16 800	106,4	1	121,4004	16 800	0

Рассмотрим пример в данной таблице. При индуктивной нагрузке (*RL*) напряжение снижается с ростом мощности. При емкостной нагрузке (*RC*) напряжение, наоборот, может возрастать. При активной нагрузке (*R*) $\cos \varphi = 1$ реактивная мощность равна 0. Данная таблица нужна для: сравнения влияния типа нагрузки на I , U , P и $\cos \varphi$; построения характеристик (например, $P = f(U)$, $I = f(P)$), упомянутых в конце текста; расчета КПД и потерь в цепи. В таблице приведены результаты моделирования трехфазной асинхронной машины с фазным ротором при различных типах нагрузок: активно-индуктивной (*RL*), активно-емкостной (*RC*) и чисто активной (*R*). Каждый набор данных включает основные параметры, характеризующие работу двигателя в установившихся режимах: потребляемую активную мощность $P_{нагр}$, реактивную мощность $Q_{нагр}$, угловую скорость ротора ω , полную мощность S , линейное напряжение U_1 , коэффициент мощности $\cos \varphi$, ток статора I_a , а также генерируемые активную P_r и реактивную Q_r мощности.

Таблица для *RL*-нагрузки отражает режим работы машины при наличии индуктивной составляющей в цепи нагрузки. По мере увеличения потребляемой мощности наблюдается постепенное снижение линейного напряжения. Это объясняется ростом реактивного тока и увеличением падения напряжения на индуктивных элементах. При этом ток статора опережает фазу напряжения на больший угол, что приводит к уменьшению коэффициента мощности $\cos \varphi$. Такая зависимость соответствует типичному поведению асинхронного двигателя, работающего в условиях активно-индуктивной нагрузки, где увеличивается доля реактивной энергии в цепи и возрастает ток в обмотках статора.

Таблица для *RC*-нагрузки демонстрирует противоположный характер зависимости. В данном случае нагрузка имеет емкостную составляющую, вследствие чего ток опережает напряжение,

частично компенсируя реактивную мощность, возникающую в цепях машины. При увеличении активной мощности напряжение на клеммах двигателя возрастает, а коэффициент мощности приближается к единице. Это указывает на возможность использования емкостных цепей для компенсации реактивных потерь и улучшения энергетических характеристик электропривода. В условиях активно-емкостной нагрузки машина работает более устойчиво, а тепловые потери в обмотках снижаются.

Таблица для R -нагрузки характеризует работу машины при чисто активном сопротивлении, когда $Q = 0$ и $\cos \varphi = 1$. В этом режиме ток и напряжение совпадают по фазе, что обеспечивает максимальную эффективность преобразования электрической энергии в механическую. Из полученных данных видно, что линейное напряжение и ток остаются практически постоянными при изменении нагрузки, а частота вращения ротора стабильна. Это соответствует номинальному рабочему режиму двигателя, в котором обеспечивается минимальное значение потерь и равномерное распределение мощности между фазами.

Графики зависимостей построены на основании полученных данных и показаны на рис. 2.

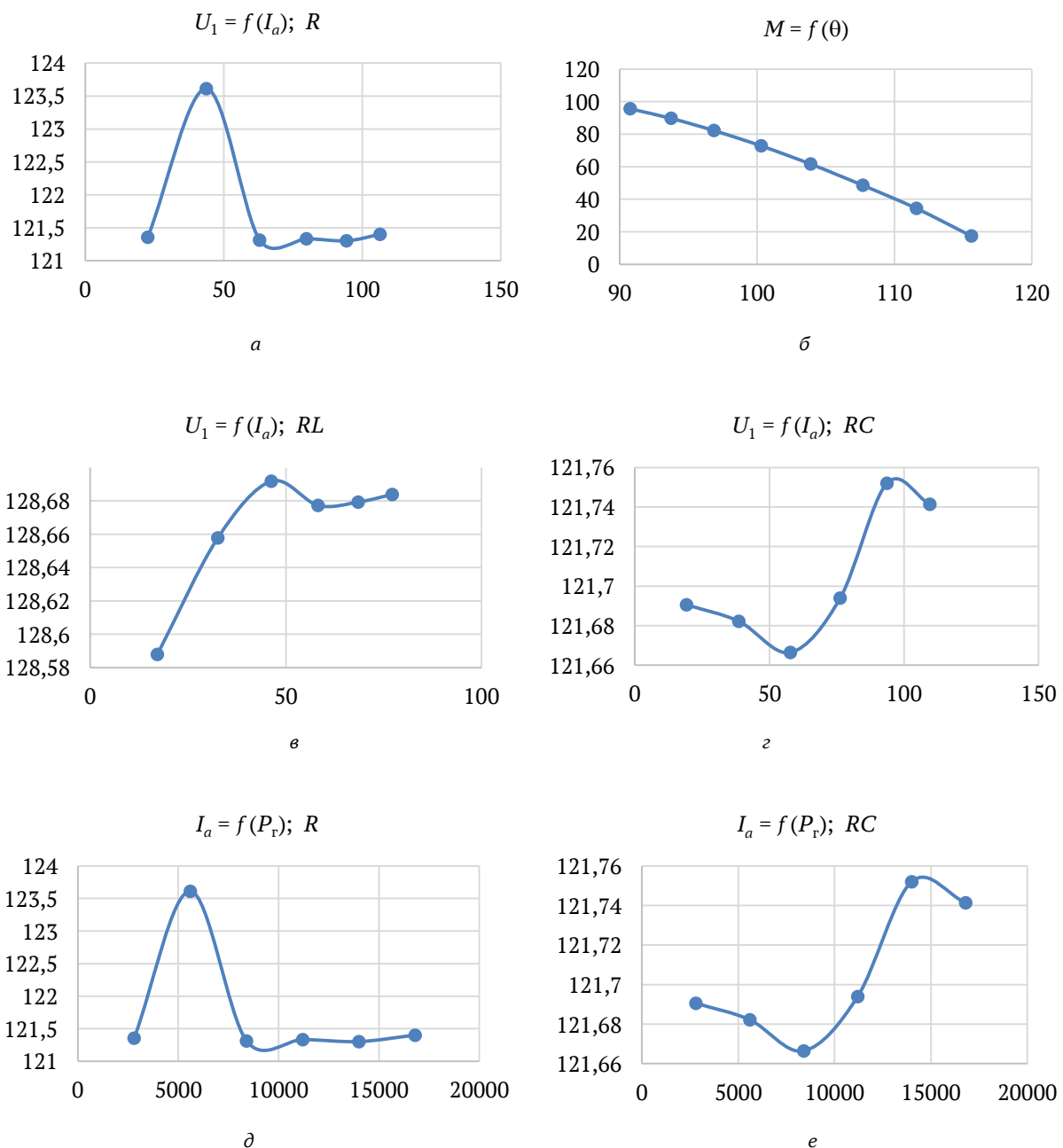


Рис. 2. График зависимостей (начало)

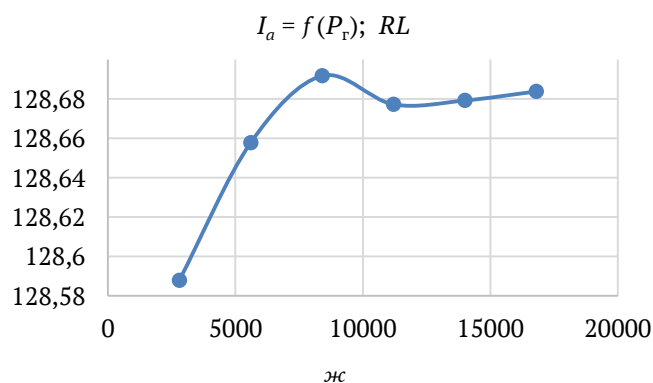


Рис. 2. График зависимостей (окончание):

- а* – график зависимости U_1 от I_a (наблюдается слабая обратно пропорциональная зависимость $U_1(I_a)$, что, вероятно, обусловлено влиянием индуктивности в цепи);
- б* – график зависимости M от θ (наблюдается характеристикой асинхронного двигателя в рабочей зоне: с ростом частоты вращения момент двигателя уменьшается);
- в* – график зависимости U_1 от I_a (показана стабильность выходного напряжения, близкого к идеальному источнику напряжения (с низким сопротивлением) в диапазоне токов);
- г* – график зависимости U_1 от I_a (источник питания обладает высокой стабильностью выходного напряжения);
- д* – график зависимости I_a от P_r (при увеличении мощности нагрузки для поддержания постоянной скорости уменьшается ток якоря);
- е* – график зависимости I_a от P_r (в определенном диапазоне с ростом частоты ток статора уменьшается);
- ж* – график зависимости I_a от P_r (с увеличением частоты питания ток статора при постоянной нагрузке на валу может незначительно снижаться)

Напряжение будет уменьшаться с ростом выходной мощности. Это характерно для источников питания, имеющих внутреннее сопротивление. Система обладает высоким и практически постоянным коэффициентом мощности ($\cos \varphi \approx 0,97$) в широком диапазоне изменения выходной мощности. Это говорит о высокой энергетической эффективности системы и минимальном потреблении реактивной мощности.

Разработана математическая модель трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором в MATLAB Simulink. Эта модель позволила всесторонне изучить характеристики двигателя и его поведение в различных условиях эксплуатации. Благодаря модели были проанализированы электромагнитные и динамические процессы, в том числе пуск, работа под нагрузкой, изменение скорости и переходные процессы. Компьютерные испытания подтвердили высокую точность модели, что делает ее полезной для инженерных расчетов, оптимизации и разработки систем управления асинхронными двигателями.

Литература

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины: Учебник для студентов высших учебных. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2023. – 832 с. – ISBN 978-5-4461-2345-6.
2. Голубцов Н.В. Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров // Экономическое возрождение России. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.
3. Дарьенков А.Б., Федоров О.В. Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с. – ISBN 978-5-406-04282-3.
4. Кацман М.М. Электрические машины и преобразователи: Учебное пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. – 2-е изд., стер. – М.: Издат. центр «Академия», 2020. – 456 с. – ISBN 978-5-4468-5678-9.
5. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: в 2 т. Т. 1: Учебник для студентов высших учебных заведений. – 3-е изд., стер. – М.: Издат. центр «Академия», 2019. – 320 с. – ISBN 978-5-4468-1234-1.
6. Петров Л.П., Козлов С.И. Методы расчета пусковых характеристик асинхронных двигателей с фазным ротором // Электротехника. – 2022. – № 5. – С. 25–31.
7. Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V. The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and

Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – Art. № 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.

8. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Эффективное управление пуска наладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11–22.

9. Богданов Д.А., Семенова Е.В. Сравнительный анализ энергетических характеристик асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором в регулируемом электроприводе // Научные технологии в машиностроении. – 2020. – № 5 (107). – С. 40–48.

УДК 519.876.5:621.313.322

Д.П. Ястребов, Б.И. Новосадов

*Камчатский государственный технический университет
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

В данной статье исследуется модель функционирования трехфазной синхронной машины. Подготовка инженеров, способных к проектированию и эксплуатации современных синхронных машин, сопряжена с необходимостью высокого уровня профессиональной компетенции. Современная электроэнергетика характеризуется активным внедрением сложных электромеханических систем, ключевым элементом которых является трехфазная синхронная машина. Ограничения в материально-техническом обеспечении образовательных учреждений, обусловленные высокой стоимостью и значительными массогабаритными характеристиками реального оборудования, зачастую препятствуют эффективному обучению будущих специалистов. Эффективным решением данной проблемы является применение технологий математического моделирования. Построение виртуальных моделей позволяет детально исследовать принципы работы, статические и динамические характеристики электрооборудования в доступной и безопасной среде. В качестве альтернативного подхода предлагается разработка виртуальной модели, реализованной в среде Matlab Simulink. Данная среда, широко применяемая в инженерной практике и образовательном процессе, способствует снижению порога вхождения и обеспечивает возможность детального изучения принципов работы машины, минимизируя систематические погрешности, присущие натурным экспериментам. Основная цель исследования заключается в создании виртуальной модели трехфазной синхронной машины.

Ключевые слова: трехфазная синхронная машина, виртуальная модель, Matlab Simulink, инженерная практика, натурные эксперименты.

D.P. Yastrebov, B.I. Novosadov

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

STUDY OF THREE-PHASE SYNCHRONOUS MACHINE IN MATLAB SIMULINK ENVIRONMENT

The model of a three-phase synchronous machine operation is investigated. To train engineers who are capable to design and operate modern synchronous machines requires a high level of professional competence. The modern electric power industry is characterized by the active implementation of complex electromechanical systems, a key element of which is a three-phase synchronous machine. Limited resources at educational institutions, due to the high cost and significant weight and size characteristics of real equipment, often hinder the effective training of future specialists. An effective solution to this problem is to use mathematical modeling technologies. The creation of virtual models allows to study the operating principles, static and dynamic characteristics of electrical equipment in an accessible and safe environment. The development of a virtual model implemented in the Matlab Simulink environment is proposed as an alternative approach. This environment, widely used in engineering practice and education, helps to reduce the entry barrier and provides the opportunity for a detailed study of the machine's operating principles, minimizing the systematic errors during full-scale experiments. The main objective of this study is to create a virtual model of a three-phase synchronous machine.

Key words: three-phase synchronous machine, virtual model, Matlab Simulink, engineering practice, natural/full-scale experiments.

Современная электроэнергетика характеризуется активным внедрением сложных электромеханических систем, ключевым элементом которых является трехфазная синхронная машина

[1–3]. Данное устройство играет критически важную роль как в качестве генератора, являющегося основным источником электроэнергии в энергосистемах, так и в качестве двигателя для привода мощных технологических установок. Проектирование, анализ и эксплуатация таких машин требуют от инженеров глубоких теоретических знаний и практических навыков [4]. В этой связи возникает существенное противоречие между потребностью в высококвалифицированных специалистах и объективными сложностями их подготовки в условиях учебных заведений. Организация полноценного учебного процесса наталкивается на серьезные препятствия, главными из которых являются высокая стоимость промышленных образцов оборудования, их значительные массогабаритные параметры, а также сложность и опасность проведения натурных экспериментов. Это приводит к дефициту современной материально-технической базы и, как следствие, к формированию у выпускников существенного пробела в практическом опыте. Эффективным решением данной проблемы является применение технологий математического моделирования [5]. Построение виртуальных моделей позволяет детально исследовать принципы работы, статические и динамические характеристики электрооборудования в доступной и безопасной среде [6–8]. Среди множества платформ для моделирования среда Matlab Simulink зарекомендовала себя как отраслевой стандарт благодаря мощному математическому аппарату, гибкости настройки и широким возможностям визуализации результатов. Таким образом, целью данной работы является разработка и анализ виртуальной модели трехфазной синхронной машины в среде Matlab Simulink для применения в учебном процессе. Модель предназначена для компенсации недостатка лабораторного оборудования, дает возможность изучать установившиеся и переходные режимы работы, включая процессы пуска, нагрузки и короткого замыкания, без риска повреждения дорогостоящего оборудования и с высокой степенью точности.

Строим модель виртуальной установки для исследования синхронной машины с магнитоэлектрической системой возбуждения (рис. 1):

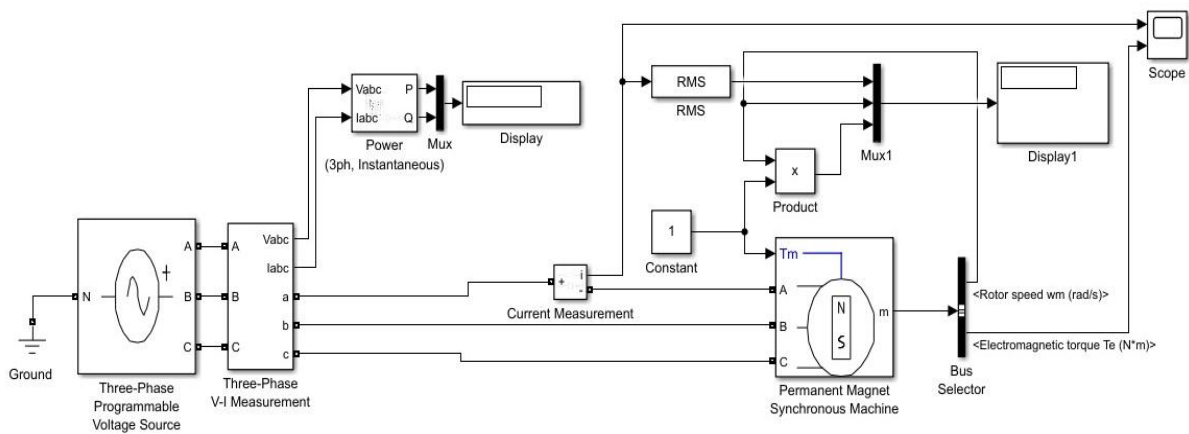


Рис. 1. Структурная схема модели для исследования явнополюсной синхронной машины

Модель содержит:

1. Источник переменного трехфазного напряжения (Three-Phase Programmable voltage Source).
2. Исследуемую трехфазную синхронную машину (Permanent Magnet Synchronous Machine).
3. Измеритель трехфазного напряжения и тока (Three-Phase U-I Measurement), активной и реактивной мощности (Active and Reactive Power).
4. Блок Machines Measurement Demux.
5. Блок Step для задания механического момента на валу машины.
6. Блок RMS для вычисления действующего значения величины.
7. Блоки Display для количественного представления измеренных мощностей, тока и электромагнитного момента машины и блок Scope для наблюдения тока статора, момента и механической мощности.
8. Блоки Sum и Product, вычисляющие электрическую и механическую мощности машины
9. Блок пользователя.
10. Блок Mux.

Выбираем тип машины по заданным параметра (табл. 1):

Параметры машины

№	R_s , Ом	U , В	M , Н·м	j , кг·м ²	F , н·м·с	P
11	0,18	51,8307	0,42854	$62 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	4

Параметры источника питания должны быть согласованы с параметрами синхронной машины по напряжению и частоте.

Снятие механических характеристик в двигательном режиме осуществляется при измерении нагрузочного момента от 0 до 1,2 Мн:

$$M_H = \frac{\sqrt{3} \cdot U_m (U_m - \omega \cdot \Phi_m) \cdot P}{\sqrt{2} \cdot \omega \cdot R_s} = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Снятие зависимости, потребляемой из семи мощности от потока возбуждения машины, осуществляется при постоянном моменте нагрузки M_H .

В полях окна настройки параметров синхронной машины (рис. 2) последовательно задаются:

1. Активное сопротивление обмотки статора (Ом).
2. Индуктивности по продольной и поперечной оси (Гн).
3. Максимальный поток в машине (Вб).
4. Момент инерции, коэффициент вязкого трения, число пар полюсов.

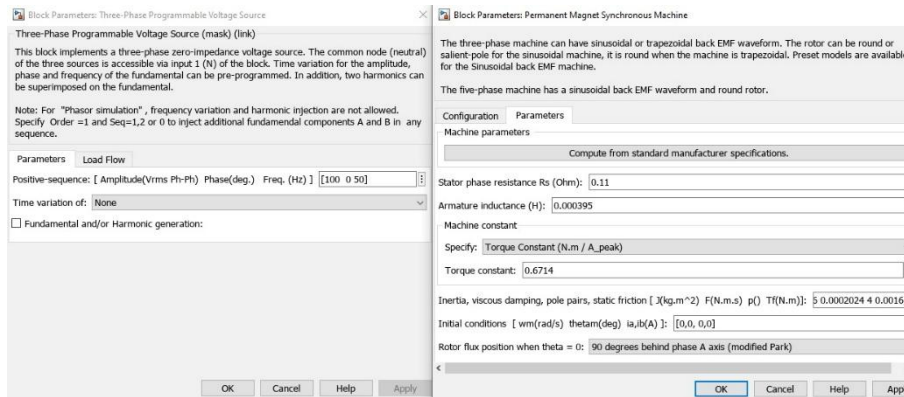


Рис. 2. Окно настройки параметров блока трехфазной синхронной машины

Максимальный поток в поле Flux induced magnets задается в диапазоне 0,6–1,2 Вб с шагом 0,05 Вб.

Зависимости от потока возбуждения машины

Q_1 , Вар	P_1 , Вт	$\cos j$
19 041	12 553	0,659262
19 038	12 556	0,659523
19 035	12 560	0,659837
19 032	12 564	0,660151
19 029	12 568	0,660466
19 027	12 571	0,660693
19 024	12 575	0,661007
19 021	12 579	0,661322
19 018	12 582	0,661584
19 016	12 586	0,661864
19 013	12 590	0,662179
19 010	12 593	0,662441
19 007	12 597	0,662756

После получения всех необходимых значений и проведения опытов следует снять характеристики работы трехфазной синхронной машины (табл. 3).

Таблица 3

Результаты опыта

P_1 , Вт	Q_1 , Вар	U_1 , В	I_1 , А	w , рад/с	j , град	$\cos j$	P_2 , Вт	h , %	s , %	P_1 , Вт	Q_1 , Вар	U_1 , В
10 305	21 591	81,65	169,1	78,54	49,75593	0,477282	11 254,88	98,29586	0	10 305	21 591	81,65
10 646	21 049	81,65	175,4	78,54	53,02769	0,505772	11 025,42	93,20754	0	10 646	21 049	81,65
11 033	20 525	81,65	37,38	78,54	56,75166	0,53754	10 775,7	87,90111	0	11 033	20 525	81,65
11 469	20 020	81,65	183,8	78,54	61,00118	0,572877	10 505,59	82,43988	0	11 469	20 020	81,65
11 959	19 536	81,65	185,8	78,54	65,87791	0,612152	10 214,89	76,87436	0	11 959	19 536	81,65
12 509	19 074	81,65	92,88	78,54	71,52606	0,655814	9 903,446	71,25351	0	12 509	19 074	81,65

Графики зависимостей построены на основании полученных данных, которые показаны на рис. 3 (а – д).

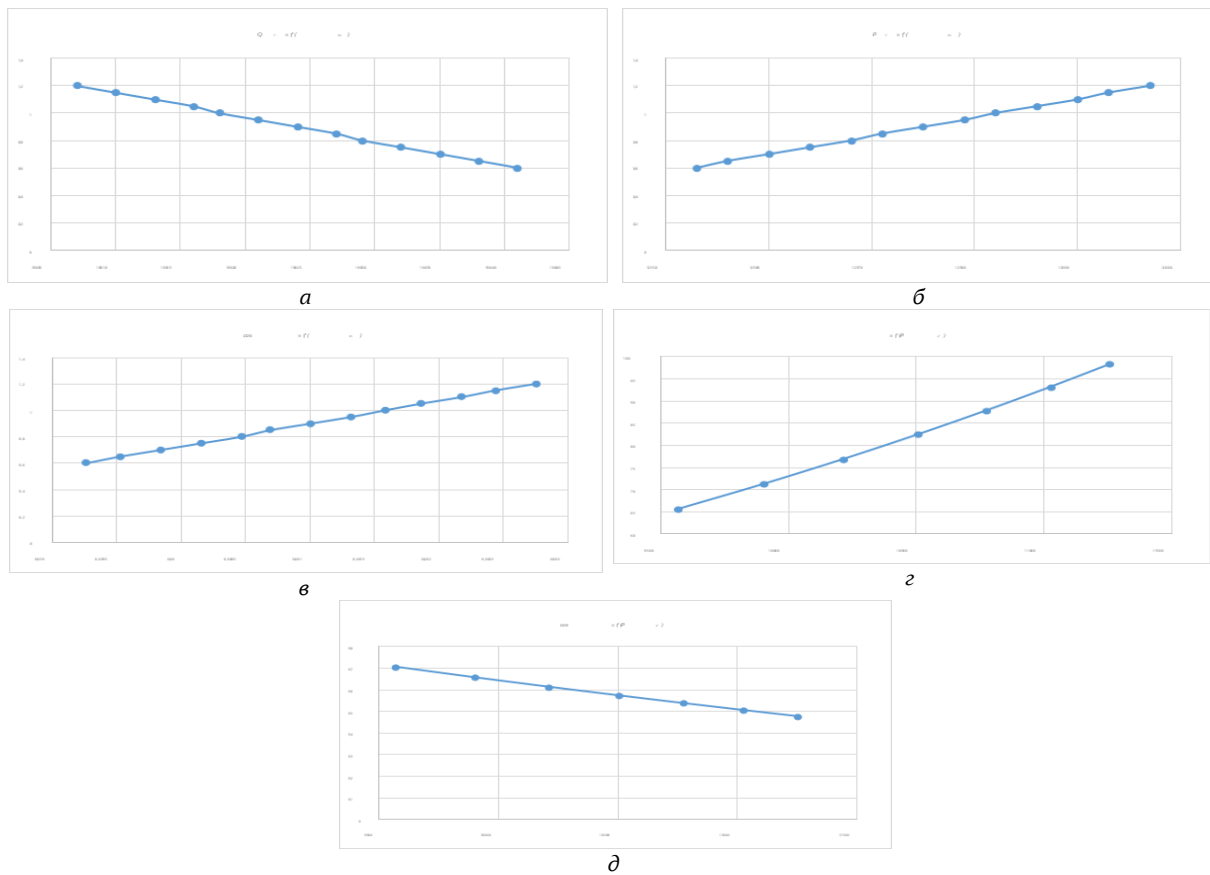


Рис. 3. Графики зависимостей, где: а – график зависимости $Q_1(\Phi_m)$; б – график зависимости $P_1(\Phi_m)$; в – график зависимости $\cos \varphi(\Phi_m)$; г – график зависимости $\eta(P_2)$; д – график зависимости $\cos \varphi(P_2)$

Рабочие характеристики синхронной машины могут быть построены либо при $I_B = \text{const}$, либо при $\cos \varphi = \text{const}$. Зависимость нагрузочного момента на валу M_1 от полезной мощности P_1 имеют линейный характер, так как угловая скорость ротора $\Omega = \text{const}$ ($M_1 = \frac{P_1}{\Omega}$).

На рис. 3 представлены основные эксплуатационные характеристики трехфазной синхронной машины, полученные в результате моделирования в среде Matlab Simulink:

(а) – график зависимости реактивной мощности Q_1 от магнитного потока возбуждения Φ_m . Из представленной зависимости видно, что при увеличении магнитного потока возбуждения реактивная мощность уменьшается, что обусловлено переходом машины из недовозбужденного в перевозбужденный режим;

(б) – график зависимости активной мощности P_1 от потока возбуждения Φ_m . При росте Φ_m увеличивается ЭДС и, соответственно, активная мощность, что подтверждает адекватность модели и соответствие основным законам электромеханического преобразования энергии;

(в) – график зависимости коэффициента мощности $\cos \varphi$ от момента нагрузки M . Увеличение механического момента приводит к росту $\cos \varphi$, то есть к улучшению режима работы машины за счет более полного использования подводимой электрической энергии;

(г) – график зависимости коэффициента полезного действия η от активной мощности P . Характер зависимости линейный: с ростом полезной мощности повышается КПД вследствие снижения относительных потерь в меди и стали;

(д) – график зависимости коэффициента мощности $\cos \varphi$ от потока возбуждения Φ_m . При увеличении Φ_m наблюдается рост $\cos \varphi$, что отражает переход машины в более экономичный режим работы и подтверждает взаимосвязь между уровнем возбуждения и энергетическими характеристиками синхронной машины.

Совокупность представленных графиков позволяет наглядно проследить влияние изменения потока возбуждения и нагрузки на электромагнитные и энергетические параметры синхронной машины, что подтверждает корректность математической модели и ее применимость для анализа рабочих режимов.

В ходе проведенного исследования была разработана и реализована в среде Matlab Simulink виртуальная модель трехфазной синхронной машины. Представленная модель включает детализированную структурную схему, параметры которой позволяют воспроизводить установившиеся и переходные режимы работы машины с высокой степенью достоверности. Результаты моделирования подтверждают возможность адекватного воспроизведения электромеханических процессов, характерных для реальных синхронных машин, что делает данную разработку эффективным инструментом как для учебных, так и для научно-исследовательских целей [9]. Таким образом, разработанная модель трехфазной синхронной машины может служить основой для дальнейших исследований в области электромеханических систем, а также стать базовой платформой для формирования компетенций будущих инженеров в сфере электроэнергетики и автоматизированного электропривода.

Литература

1. Токарев Б.Ф. Электрические машины: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 624 с.
2. Забудский Е.И. Электрические машины: Учебное пособие. – М.: МГАУ, 2002. – С. 4–12.
3. Китаева В.Е., Корхов Ю.М., Свиринов В.К. Электрические машины. Ч. 1. Машины постоянного тока. Трансформаторы: Уч. пособие для техникумов / Под ред. В. Е. Китаева. – М.: Высш. школа, 1978. – 184 с., ил.
4. Голубцов Н.В. Управление инновациями в энергетике: проблема подготовки кадров // Экономическое возрождение России. – 2010. – № 3(25). – С. 121–126.
5. Федоров О.В., Дарьенков А.Б. Энергосберегающая политика. – М.: Компания КноРус, 2015. – 294 с. – ISBN 978-5-406-04282-3.
6. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / А.В. Синюков, Т.В. Синюкова, Е.И. Грачева и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87–98.
7. Федоров О.В., Кузнецов Н.М. Альтернативные источники энергии для удаленных потребителей // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 6(123). – С. 141–144.
8. Semenov A.S., Egorov A.N., Fedorov O.V. The Analysis of the Practice of Using of High-Voltage Frequency Converters ACS5000 // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – Art. № 8602676. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602676.
9. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Эффективное управление пуска наладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 3-4. – С. 11–22.

СЕКЦИЯ 3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 681.52:004.3.

В.С. Ганькин

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: nezgit.root.kali@gmail.com*

УМНАЯ ТЕПЛИЦА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

В данном материале рассмотрена комплексная система автоматического управления и поддержания параметров, определяющих и поддерживающих микроклимат, а также обеспечивающих автоматизированное выращивание растений в защищенном грунте. Представлены схемные решения, разработанные с применением прикладных программ easyEDA, а также 3D-модели в программе SolidWorks.

Ключевые слова: Arduino, автоматизация, выращивание растений в защищенном грунте.

V.S. Gankin

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: nezgit.root.kali@gmail.com*

SMART GREENHOUSE BASED ON ARDUINO UNO MICROCONTROLLER

In this material the complex system of automatic control and maintenance of parameters determining and supporting microclimate, as well as providing automated cultivation of plants in the protected ground is considered. Schematic solutions developed with the use of easyEDA application programs, as well as 3D models in SolidWorks program are presented.

Key words: Arduino, automation, growing plants in a protected environment.

Устройство представляет собой автоматизированную систему управления параметрами микроклимата теплицы. Его основная задача состоит в поддержании оптимальной температуры, влажности почвы и дополнительного освещения растений, а также в регистрации показаний датчиков и действий системы.

В основе устройства используется контроллер Arduino, к которому подключены емкостные датчики влажности почвы, освещенности, температуры и влажности воздуха [1] DHT11, модуль часов реального времени DS1307 и карта памяти SD для хранения журналов.

При запуске контроллер выполняет инициализацию всех модулей и загрузку настроек из файла на карте памяти. Если файл отсутствует, используются значения по умолчанию. Далее система переходит к циклическому измерению параметров среды.

В автоматическом режиме контроллер анализирует данные и управляет исполнительными элементами. Вентилятор включается при превышении верхнего порога температуры и выключается при снижении температуры ниже нижнего порога. Насос активируется при падении влажности почвы ниже заданного значения и отключается после завершения цикла полива или при достижении верхнего уровня влажности. Освещение управляется по инвертированной логике: лампа включается при высокой освещенности, чтобы обеспечить дополнительную засветку растений и выключается при снижении уровня света.

Каждый цикл измерений сопровождается записью информации о дате, времени, температуре, влажности воздуха, влажности почвы, уровне освещенности и состоянии исполнительных устройств в файл журнала на карте памяти, а также выводом этих данных в последовательный порт.

Управление теплицей осуществляется через интерфейс UART [2] с помощью заданных текстовых команд. Через этот канал пользователь может переключать режимы, изменять пороговые значения, сохранять настройки, выполнять ручное управление насосом, вентилятором и лампой, а также инициировать перезагрузку контроллера.

Контроллер имеет три режима работы: автоматический, конфигурационный и ручной [3]. Сторожевой таймер обеспечивает защиту от зависаний, автоматически перезапуская систему при сбое программы (рис. 1).

На базе данного устройства была создана демонстрационная модель умной теплицы для отладки и демонстрации функционала [4]. Эта модель позволяет наглядно увидеть, как все компоненты – датчики, исполнительные механизмы и контроллер – работают вместе в режиме реального времени (рис. 2 и 3).

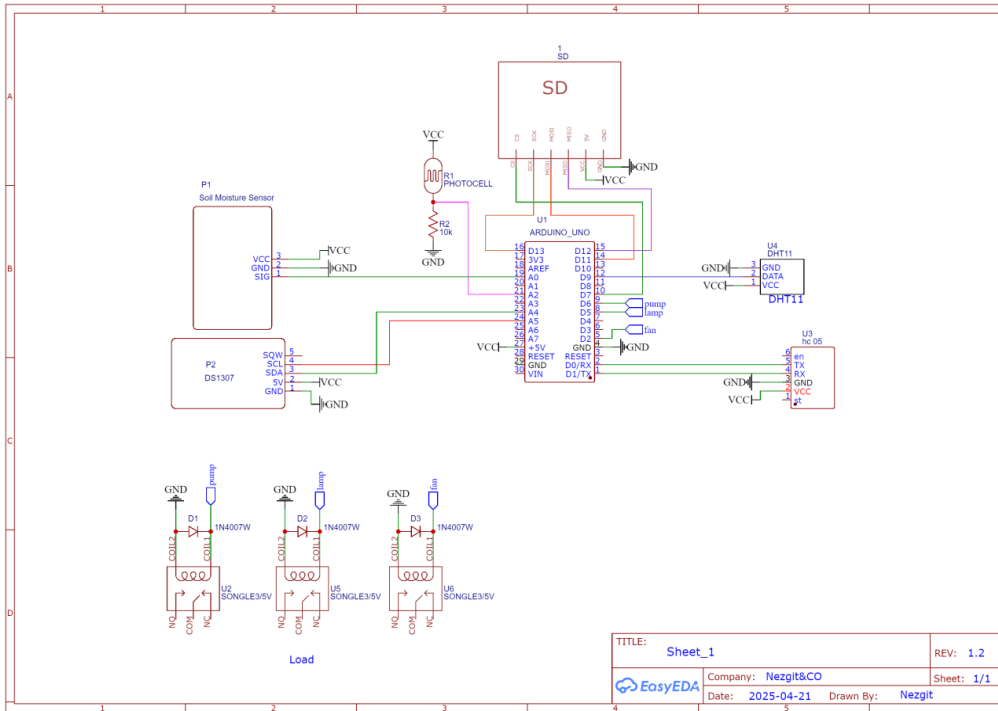


Рис. 1. Электрическая схема устройства

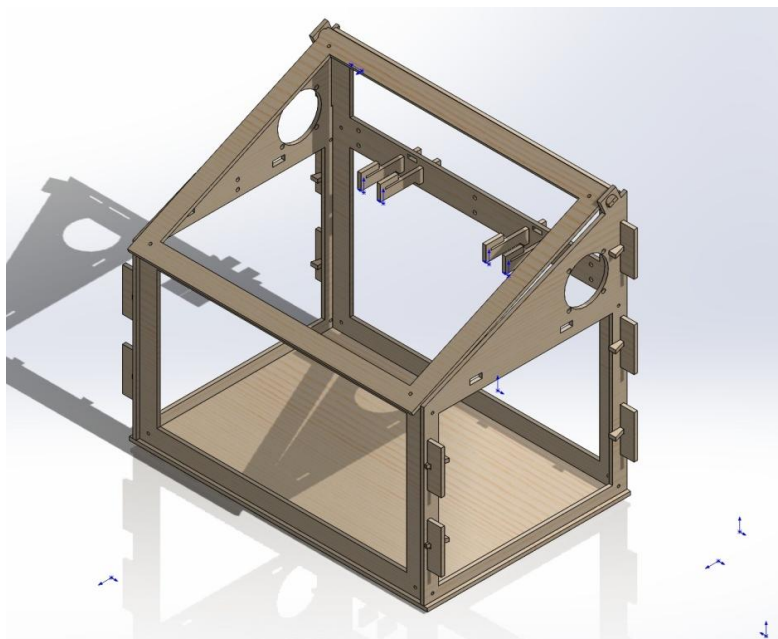


Рис. 2. 3D-модель корпуса теплицы

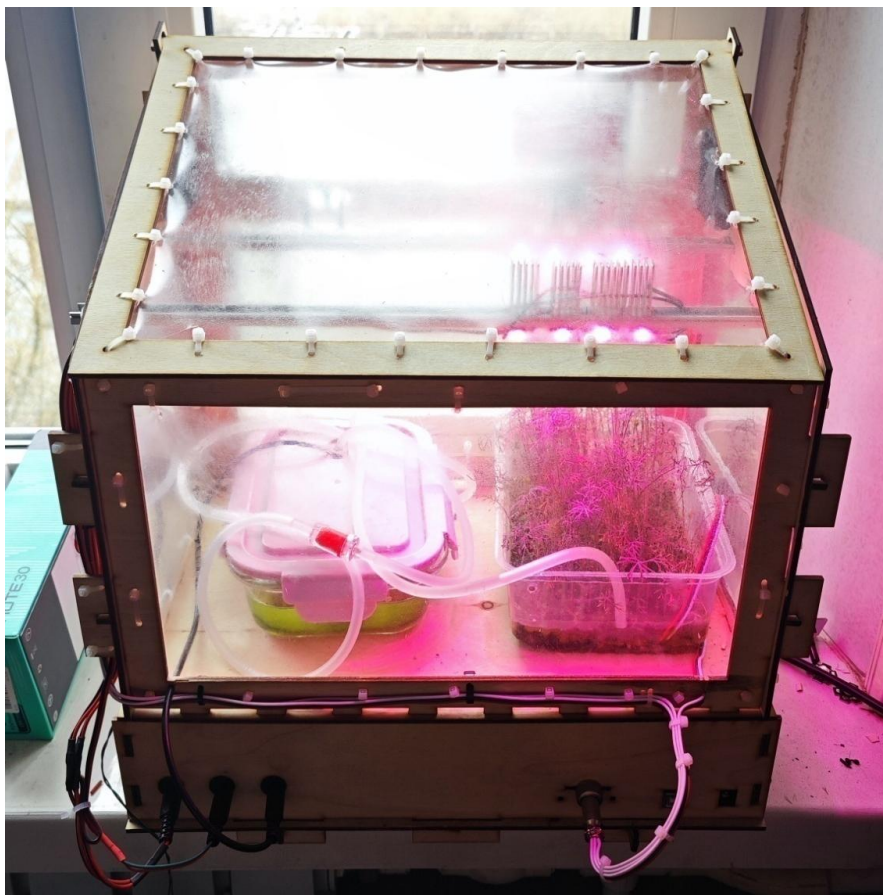


Рис. 3. Общий вид макета

Литература

1. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных растений для анализа элементов систем земледелия / ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург, ООО «Бюро Гиперборея».
2. Учебное пособие по Arduino [Электронный ресурс]. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/517/DOC006517380.pdf>
3. Учебное пособие по работе в программе easyEDA [Электронный ресурс]. – URL: https://image.easyeda.com/files/EasyEDA-Tutorials_v6.4.3.ru.pdf
4. Учебное пособие по работе в программе SolidWorks [Электронный ресурс]. – URL: https://www.solidworks.com/sw/docs/student_wb_2011_rus.pdf

УДК 629.5.064

А.А. Житников

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru*

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ НА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

В условиях эксплуатации судовых энергетических комплексов достоверность измерительной информации определяет надежность функционирования автоматизированных систем управления. Особую значимость приобретает устойчивость информационно-измерительных каналов к воздействию электромагнитных помех, возникающих в насыщенной электромагнитной среде машинных отделений. В работе проведен анализ влияния электрических и магнитных помех на экранированные сигнальные кабели при параллельной прокладке с силовыми линиями в соответствии с действующими судостроительными нормами. С использованием численного моделирования методом конечных элементов оценено наведенное напряжение и ток в сигнальной цепи при различных состояниях заземления экрана. Установлено, что в случае нарушения заземления наблюдается резкий рост наведенного потенциала и тока, что приводит к существенным искажениям сигнала и может вызывать системные ошибки в алгоритмах управления. Полученные данные подчеркивают критическую роль надежного заземления экранирующих оболочек и необходимость внедрения расширенных диагностических методов, основанных на анализе динамических характеристик сигналов, для раннего выявления скрытых помеховых воздействий. Результаты исследования имеют практическую ценность для повышения помехоустойчивости и эксплуатационной надежности судовых энергетических систем.

Ключевые слова: электромагнитная помеха, сигнал, измерительный канал, автоматизация, система управления, датчик.

A.A. Zhitnikov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru*

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE ON INFORMATION AND MEASUREMENT CHANNELS OF SHIP'S ENERGY AUTOMATION SYSTEMS

In the operating conditions of marine power systems, the reliability of measurement information determines the operational reliability of automated control systems. The resistance of information and measurement channels to electromagnetic interference arising in the dense electromagnetic environment of engine rooms is of particular importance. This paper analyzes the impact of electrical and magnetic interference on shielded signal cables laid parallel to power lines in accordance with current shipbuilding standards. Using numerical modeling using the finite element method, the induced voltage and current in the signal circuit are estimated for various shield grounding conditions. It is established that in the event of a grounding failure, a sharp increase in induced potential and current is observed, which leads to significant signal distortions and can cause systemic errors in control algorithms. The obtained data emphasize the critical role of reliable grounding of shielding sheaths and the need to implement advanced diagnostic methods based on the analysis of dynamic signal characteristics for the early detection of hidden interference effects. The research results have practical value for improving the noise immunity and operational reliability of shipboard power systems.

Key words: electromagnetic interference, signal, measuring channel, automation, control system, sensor.

Современные судовые энергетические комплексы представляют собой высокоинтегрированные автоматизированные системы, в которых функционирование управляющих алгоритмов напрямую зависит от достоверности данных, поступающих от информационно-измерительных

каналов. В условиях насыщенной электромагнитной обстановки машинных отделений судов, где сосредоточены мощные силовые установки и чувствительная электроника, электромагнитные помехи становятся одной из ключевых причин снижения надежности и точности измерений. Помехи могут искажать сигналы датчиков, вызывать ложные срабатывания защитных систем, приводить к дрейфу нулевых точек и в конечном итоге к некорректной работе управляющих алгоритмов [1–3].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения устойчивости судового энергетического комплекса к внешним и внутренним источникам электромагнитных помех, а также повышением требований к точности и достоверности измерительной информации в условиях длительных морских рейсов, где возможности диагностики и ремонта ограничены. Целью работы является анализ механизмов возникновения и распространения различных типов электромагнитных помех в информационно-измерительных каналах судовых энергетических комплексов и оценка эффективности мер по их подавлению с применением численного моделирования конечных элементов.

В работе представлены два типа помех. Сначала рассматриваются помехи, вызванные электрическими полями, и оценка наведенного потенциала в сигнальном кабеле датчика. На следующем этапе исследования производится количественная оценка магнитных помех. Для количественной оценки влияния электромагнитных помех на информационно-измерительные каналы проведено численное моделирование в программном пакете ELCUT на основе метода конечных элементов [4].

Рассматривалась система, состоящая из трехжильного силового кабеля, сечением жилы равным 4 мм^2 с изоляцией из поливинилхлорида и двухжильного экранированного сигнального кабеля, сечением жилы – $0,75 \text{ мм}^2$ с изоляцией из поливинилхлорида и защитным экраном из алюминиевой оплетки. Согласно документу «Правила классификации и постройки морских судов», часть IX, п. 2.2.2.9, расстояние между кабелями при параллельной прокладке на длине более 1 м должно составлять не менее 0,1 м [5]. В модели это условие соблюдено: длина параллельного участка – 10 м, расстояние между кабелями – 0,1 м.

Моделирование проводилось в два этапа. На первом этапе производился анализ влияния электрического поля. В модели на силовую кабель подавалось трехфазное напряжение 380 В, 50 Гц, с фазовым сдвигом 120° . Оценивался потенциал на поверхности экрана сигнального кабеля при корректном и нарушенном заземлении.

На втором этапе производился анализ влияния магнитного поля для расчета индуцированного тока в сигнальной цепи при тех же условиях заземления экрана.

Результаты первого этапа моделирования показали, что при исправном заземлении экрана средний потенциал на его поверхности составляет $2,1313 \cdot 10^{-9} \text{ В}$, что на несколько порядков ниже порога чувствительности современных аналого-цифровых преобразователей (рис. 1). Это подтверждает высокую эффективность экранирования при надежном соединении с землей.

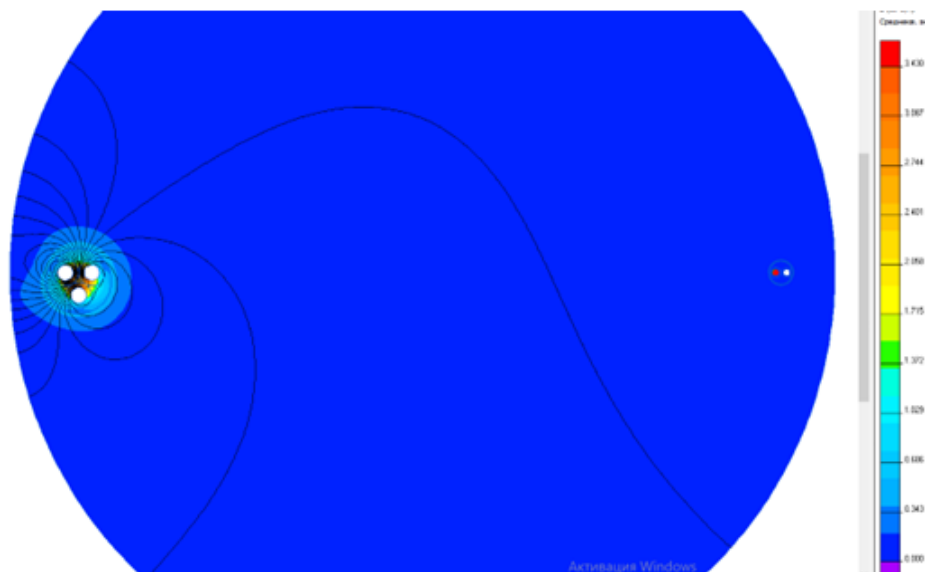


Рис. 1. Моделирование электрических полей

В случае нарушения заземления или плохого контакта потенциал на экране возрастает до 64,648 В, что превышает допустимые входные уровни большинства измерительных устройств и способно вызывать значительные искажения сигнала.

На втором этапе было установлено, что при исправном заземлении индуцированный ток в сигнальном кабеле составляет $4,1709 \cdot 10^{-11}$ А – величина, не имеющая практического значения (рис. 2).

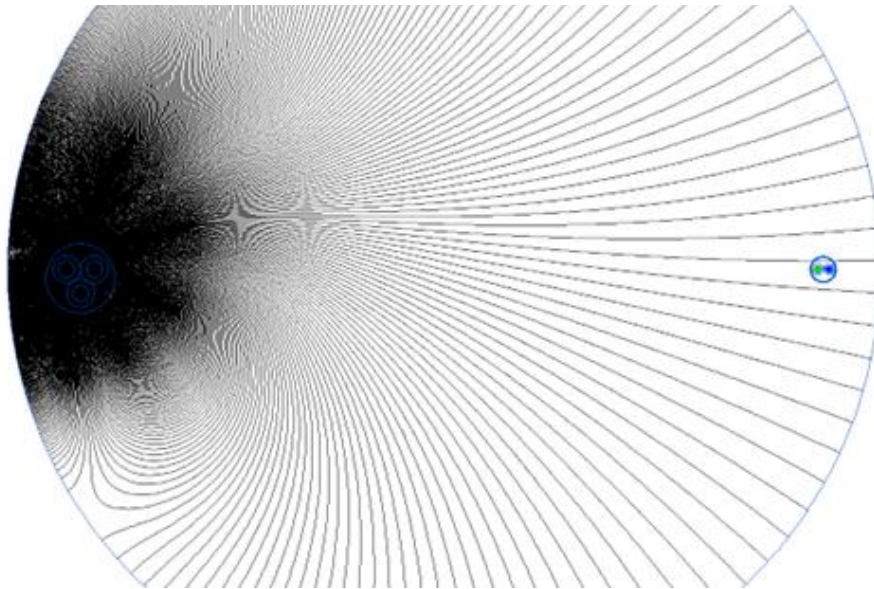


Рис. 2. Моделирование магнитных полей

Однако при отсутствии заземления экрана ток возрастает до 0,00013308 А, что соответствует примерно 1,2% от диапазона унифицированного сигнала 4–20 мА. Это значение способно вызывать систематические ошибки в измерениях, приводя к некорректной работе алгоритмов управления.

Полученные результаты подтверждают, что целостность заземления экранов сигнальных кабелей является критически важным фактором, определяющим устойчивость информационно-измерительных каналов к электромагнитным помехам. В реальных эксплуатационных условиях судов такие нарушения могут возникать вследствие вибраций, коррозии, некачественного монтажа или термического старения соединений.

Особую опасность представляют неявные помехи. Они не вызывают аварийных остановок, но приводят к постепенному снижению точности регулирования. Например, искажение сигнала датчика температуры масла может привести к недоохлаждению двигателя, ускоренному износу. В то же время система диагностики, ориентированная на бинарные критерии «исправен/неисправен», может не фиксировать таких отклонений.

Это указывает на необходимость перехода к диагностике на основе анализа динамики сигнала: оценки его шумового профиля, спектрального состава, корреляции с режимами работы оборудования. Внедрение подобных подходов позволит выявлять скрытые помеховые воздействия на ранних стадиях и предотвращать их накопительные последствия.

Электромагнитные помехи в информационно-измерительных каналах судовых энергетических комплексов представляют собой серьезную угрозу надежности и безопасности судовых энергетических систем. Проведенное моделирование показало, что даже при соблюдении нормативных требований к прокладке кабелей эффективность защиты от электромагнитных помех напрямую зависит от целостности заземления экранов сигналов. Исправное заземление экрана снижает уровень наведенных напряжений и токов до пренебрежимо малых величин. Нарушение заземления приводит к появлению помех, сопоставимых с рабочим диапазоном измерительных каналов, что вызывает системные ошибки в управлении. Традиционные методы диагностики недостаточны для выявления скрытых помеховых воздействий, требуется внедрение методов, основанных на анализе временной и частотной стабильности сигналов.

Рекомендуется при проектировании и эксплуатации судовых энергетических комплексов уделять повышенное внимание качеству монтажа экранированных кабелей, регулярно контролировать состояние заземляющих соединений и развивать интеллектуальные методы диагностики, способные выявлять помехи по их динамическим признакам, а не только по амплитудным отклонениям.

Литература

1. Обеспечение электромагнитной совместимости систем интеллектуального управления при появлении помех в судовых кабельных трассах / *А.М. Агафонов, А.А. Воршевский, П.А. Воршевский и др.* // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1-3(47). – С. 115–120.
2. Разработка модулей калибровки комплекса оценки влияния электромагнитных помех на электронные средства / *Д.А. Пухов, А.В. Суворин, Д.В. Васильченко, М.А. Ромащенко* // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2021. – Т. 17, № 6. – С. 95–99.
3. *Набиев И.И., Минегалиева М.М.* Помехоустойчивость локальных вычислительных сетей при воздействии микросекундных электромагнитных помех // Юность и знания – гарантия успеха: Сборник научных трудов Междунар. науч.-техн. конф. (Курск, 17–18 декабря 2014 г.) / Отв. ред. Разумов М.С. – Курск: Университетская книга, 2014. – С. 293–296.
4. Программное обеспечение для моделирования полей ELCUT [Электронный ресурс]. – URL: <https://elcut.ru/index.html> (дата обращения: 03.11.2025).
5. Правила классификации и постройки морских судов, часть IX Электрическое оборудование: введены в действие 01.01.2019. – Санкт-Петербург, 2019. – 232 с.

УДК 629.5.064

А.А. Житников, А.А. Марченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru; Marchenko_Alx@inbox.ru*

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ТЕМПЕРАТУРЫ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В статье представлена количественная оценка надежности информационно-измерительного канала температуры, входящего в состав автоматизированной системы управления судовым энергетическим комплексом. В качестве объекта исследования выбран типовой информационно-измерительный канал температуры, построенный на базе сертифицированного оборудования отечественного производителя, допущенного к применению на морских судах. С учетом последовательной структуры канала выполнены расчеты вероятности безотказной работы и коэффициента готовности в соответствии с методическими указаниями РД 50-476-84. Показано, что средняя наработка на отказ рассматриваемого канала составляет 14 670 часов, а при наработке 50 000 часов суммарное время простоя может достигать 244 часов в зависимости от продолжительности восстановления. Особое внимание уделено анализу рисков, связанных с отказом информационно-измерительного канала температуры. Продемонстрировано, что даже кратковременная потеря достоверных данных способна спровоцировать ложное срабатывание защитной логики и аварийную остановку судового энергетического агрегата, что в морских условиях создает угрозу безопасности плавания. Обоснована целесообразность перехода от аппаратных методов повышения надежности к программным средствам диагностики на базе современных программируемых логических контроллеров, позволяющим минимизировать последствия отказов без существенного усложнения аппаратной части системы.

Ключевые слова: информационно-измерительный канал, надежность, система управления, автоматика, наработка на отказ.

A.A. Zhitnikov, A.A. Marchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: zhitnikov-alexandr@mail.ru; Marchenko_Alx@inbox.ru*

ASSESSMENT OF RELIABILITY INDICATORS OF THE INFORMATION AND MEASUREMENT CHANNEL OF THE TEMPERATURE OF THE SHIP'S POWER PLANT

This article presents a quantitative assessment of the reliability of a temperature data-measuring channel included in the automated control system for a ship's power system. A standard temperature data-measuring channel, built using certified equipment from a domestic manufacturer approved for use on seagoing vessels, was chosen as the object of study. Taking into account the channel's sequential structure, the probability of failure and the availability factor were calculated in accordance with RD 50-476-84 guidelines. It is shown that the mean time between failures for this channel is 14,670 hours, and with 50,000 hours of operation, the total downtime can reach 244 hours, depending on the recovery time. Particular attention is paid to the analysis of the risks associated with the failure of the temperature data-measuring channel. It has been demonstrated that even a short-term loss of reliable data can trigger a false triggering of the protective logic and an emergency shutdown of the ship's power unit, which poses a threat to navigational safety in marine conditions. The feasibility of transitioning from hardware-based reliability enhancement methods to software-based diagnostics based on modern programmable logic controllers, which minimize the consequences of failures without significantly complicating the system's hardware, is substantiated.

Key words: information-measuring channel, reliability, control system, automation, mean time between failures.

Надежность автоматизированных систем управления судовыми энергетическими комплексами является ключевым фактором обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации морских судов. Любые отказы в системе управления судовыми агрегатами могут привести к тяжелым последствиям, включая аварийные остановки оборудования, нарушение навигационной безопасности и экономические убытки. Особое внимание в структуре автоматизированных систем управления заслуживают информационно-измерительные каналы, поскольку именно через них осуществляется контроль критически важных технологических параметров [1, 2].

Несмотря на разнообразие архитектурных решений, применяемых при построении современных автоматизированных систем управления, большинство из них реализуют унифицированную структуру информационно-измерительных каналов, что позволяет выполнять сравнительный анализ их показателей надежности. В настоящей работе выполнена оценка безотказности и готовности типового информационно-измерительного канала, построенного на базе сертифицированного оборудования отечественного производителя.

Для анализа выбран информационно-измерительный канал температуры. Данный измерительный канал имеет структуру, представленную на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема информационно-измерительного канала температуры

Исходные данные средней наработки на отказ получены из технической документации производителя «Овен» (табл. 1) [3–6]. Выбор данного производителя обусловлен наличием сертификации от Российского морского регистра судоходства для применения на морских судах.

Таблица 1

Исходные данные элементов информационно-измерительного канала

Элемент	Средняя наработка на отказ, ч	Интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/ч
Программируемый логический контроллер ПЛК110	60 000	16,7
Модуль аналогового ввода МВ110-224.8А	50 000	20
Преобразователь сигнала НПТ-3.00.1.2 Ex	100 000	10
Датчик температуры ДТП	50 000	20
Линия электрического соединения	2 000 000	0,5

Расчет надежности был выполнен в два этапа. На первом этапе был произведен расчет исходя из того, что все элементы канала являются невосстанавливаемыми. На втором этапе расчет производился с учетом времени восстановления системы и коэффициента готовности. Расчеты выполнены в соответствии с методическими рекомендациями РД 50-476-84 [7].

Вероятность безотказной работы для системы с последовательным соединением элементов определяется по экспоненциальному закону:

$$P_{ик}(t) = e^{-t \cdot \sum_{i=1}^n \lambda_i}; \quad (1)$$

где $P_{ик}(t)$ – вероятность безотказной работы за время t ;

t – время работы информационно-измерительного канала;

λ_i – интенсивность отказа i -го элемента;

n – число элементов в информационно-измерительном канале.

Представлен расчет для данной системы в соответствии с формулой (1):

$$P_{икт}(t) = e^{-t \cdot \lambda_{дт} + \lambda_{лс} + \lambda_{пс} + \lambda_{лс} + \lambda_{мв} + \lambda_{лс} + \lambda_{кт}};$$

$$P_{икт}(t) = e^{-t \cdot (20 + 0,5 + 10 + 0,5 + 20 + 0,5 + 16,7) \cdot 10^{-6}};$$

$$P_{икт}(t) = e^{-t \cdot 0,0000682}.$$

На основании полученной зависимости был построен график (рис. 2):

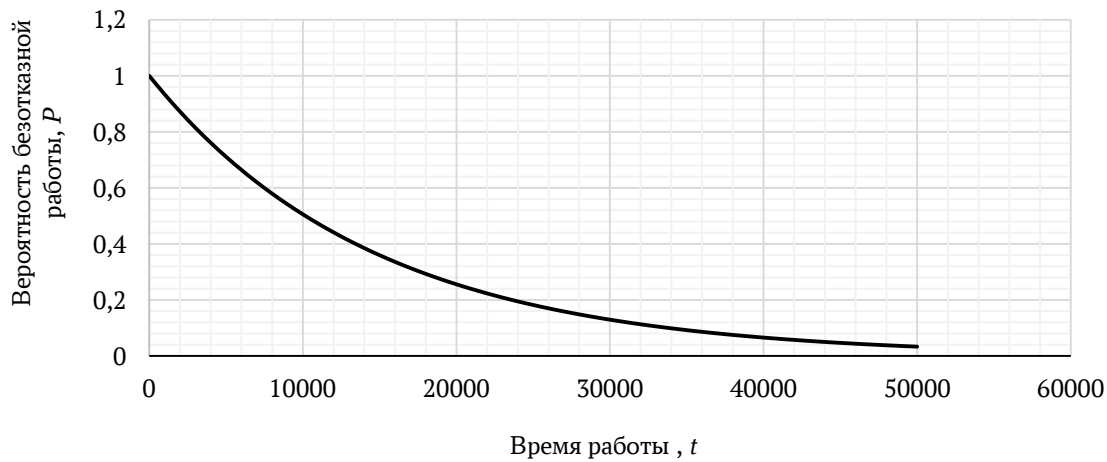


Рис. 2. Оценка вероятности безотказной работы измерительного канала

С учетом того, что данная система может быть восстановлена в судовых условиях, был произведен расчет для данного информационно-измерительного канала как для восстанавливаемой системы.

Определим среднее время наработки на отказ информационно-измерительного канала температуры, используя формулу:

$$MTBF_{\text{общ}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n MTBF_i} \quad (2)$$

Для нашего случая расчет имеет следующий вид:

$$MTBF_{\text{икт}} = 1 : \left(\frac{1}{MTBF_{\text{кт}}} + \frac{3}{MTBF_{\text{лс}}} + \frac{1}{MTBF_{\text{мв}}} + \frac{1}{MTBF_{\text{пс}}} + \frac{1}{MTBF_{\text{дт}}} \right);$$

$$MTBF_{\text{икт}} = 1 : \left(\frac{1}{60000} + \frac{3}{2000000} + \frac{1}{50000} + \frac{1}{100000} + \frac{1}{50000} \right);$$

$$MTBF_{\text{икт}} = 14670 \text{ ч.}$$

Для восстанавливаемых систем основным показателем служит коэффициент готовности, отражающий вероятность того, что система окажется работоспособной в случайный момент при установившемся режиме эксплуатации. Выражение для вычисления коэффициента готовности имеет вид:

$$K_{\Gamma} = \frac{MTBF}{MTBF + MTBR} \quad (3)$$

где K_{Γ} – коэффициент готовности;

$MTBF$ – средняя наработка на отказ;

$MTBR$ – среднее время восстановления.

Показатель среднего времени восстановления ($MTBR$) может варьироваться от нескольких часов до нескольких суток. С учетом этого выполнялся расчет для значений от 4 до 72 часов. График зависимости полученных значений коэффициентов готовности от времени восстановления представлен на рис. 3.

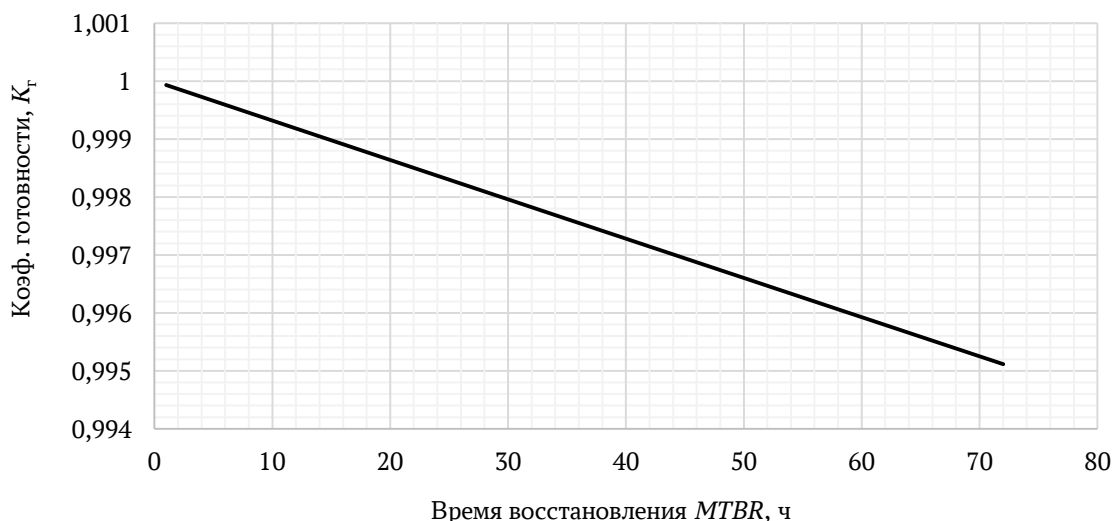


Рис. 3. Зависимость коэффициента готовности от среднего времени восстановления

С учетом найденной зависимости определим среднее время простоя оборудования для наработки в 50 000 часов, используя формулу:

$$T_{\text{простоя}} = (1 - K_r) \cdot T_{\text{эксплуатации}} \quad (4)$$

Полученные результаты представлены в табл. 2:

Таблица 2

Оценка времени простоя оборудования

Коэффициент готовности K _r	Среднее время восстановления MTBR, ч	Время простоя для наработки в 50 000 часов, ч
0,999727	4	13,62955
0,999455	8	27,25167
0,998911	16	54,47365
0,998367	24	85,06295
0,997823	32	108,8287
0,997281	40	135,9619
0,996739	48	163,0656
0,996197	56	190,1399
0,995656	64	217,1847
0,995116	72	244,2002

Полученные результаты свидетельствуют о том, что информационно-измерительный канал температуры является критически уязвимым элементом автоматизированной системы управления судовым энергетическим комплексом. Это обусловлено преимущественно последовательной архитектурой, при которой отказ любого компонента приводит к полной потере достоверной информации о контролируемом параметре.

Особую опасность представляет отказ информационно-измерительного канала, поскольку именно он обеспечивает данными автоматизированную систему управления, необходимыми для принятия решений о функционировании основного энергетического оборудования. В случае нарушения работоспособности канала система может интерпретировать отсутствие или искажение сигнала как превышение допустимого значения. Это может спровоцировать ложное срабатывание защитных алгоритмов и, как следствие, аварийную остановку судового агрегата. В условиях морской эксплуатации подобная ситуация создает непосредственную угрозу безопасности судна, его экипажу и окружающей среде.

Экономический ущерб от подобных инцидентов складывается не только из прямых расходов на диагностику и восстановление работоспособности оборудования, но и из косвенных

потерь: срыва графика рейсов, недопоставки грузов, штрафных санкций и в крайних случаях затрат на буксировку.

Применение традиционных методов повышения надежности, таких как аппаратное резервирование, в судовых условиях ограничено из-за значительного увеличения стоимости, массогабаритных характеристик и сложности технического обслуживания. В то же время современные программируемые логические контроллеры открывают возможность внедрения программных методов диагностики, способных в реальном времени выявлять неисправности и предотвращать ложные команды на аварийную остановку. Такой подход позволяет существенно повысить устойчивость автоматизированной системы управления судовой энергетической установки к отказам измерительных каналов без существенного усложнения аппаратной части.

Проведенное исследование показало, что информационно-измерительный канал температуры, несмотря на применение сертифицированного судового оборудования, обладает ограниченной надежностью в условиях длительной эксплуатации. Расчетные данные подтверждают, что при последовательной структуре канала даже кратковременный отказ одного из его элементов приводит к потере достоверной информации о температуре рабочей среды. Это, в свою очередь, создает реальную угрозу ложного срабатывания защитной логики автоматизированной системы управления и последующей аварийной остановки судового энергетического агрегата.

Полученные результаты указывают на необходимость перехода от пассивных методов обеспечения надежности к активным программно-аппаратным решениям. Внедрение в состав программируемых логических контроллеров алгоритмов ранней диагностики неисправностей позволит не только своевременно выявлять отказы, но и предотвращать необоснованные остановки оборудования. Это особенно актуально для судовых энергетических комплексов, где непрерывность функционирования напрямую связана с безопасностью плавания и экономической эффективностью эксплуатации судна.

Литература

1. Тихонов Н.Ф., Шумихина Е.Г. Комплексная автоматизация управления судовыми энергетическими установками // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 88-4. – С. 99–103. – DOI: 10.18411/trnio-08-2022-166.
2. Хорошев В.В., Чесноков Д.В. Современные проблемы автоматизации в судовых энергетических установках и способы их решения // Актуальные решения проблем водного транспорта: Сборник материалов III Междунар. науч.-практ. конф (Астрахань, 29–31 мая 2024 г.). – Астрахань: Волжский государственный университет водного транспорта, 2024. – С. 644–646.
3. ПЛК110[M02]: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] // ОВЕН. – 2024. – 45 с. – URL: https://owen.ru/downloads/re_plk110_m02.pdf (дата обращения: 04.11.2025).
4. MB110-224.8A: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] // ОВЕН. – 2024. – 45 с. – URL: https://owen.ru/downloads/re_mv110-8a_nw.pdf (дата обращения: 04.11.2025).
5. НПТ-2. х.1.2: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] // ОВЕН. – 2020. – 2 с. – URL: https://owen.ru/downloads/re_npt-2.pdf (дата обращения: 04.11.2025).
6. ОВЕН ДТП: руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] // ОВЕН. – 2009. – 54 с. – URL: https://owen.ru/downloads/re_npt-2.pdf (дата обращения: 04.11.2025).
7. РД 50-476-84. Методические указания. Надежность в технике. Интервальная оценка надежности технического объекта по результатам испытаний составных частей: руководящий документ: Общие положения: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 22 июня 1984 г. № 2053. (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу) // Кодекс: Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200053866> (дата обращения: 04.11.2025).

УДК 378:656.61

Р.И. Изотченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: Izotchenko_RI@kamchatgtu.ru*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В МОРСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Цель статьи – комплексно рассмотреть специфические вызовы и возможности внедрения дистанционных образовательных технологий (ДОТ) в систему морского образования. Показано, что международная нормативная среда (ПДНВ и СОЛАС) ориентирует подготовку моряков на подтверждение практических компетенций, проведение регулярных бортовых тренировок и применение сертифицированных симуляторов, что ограничивает потенциал онлайн-форматов. Одновременно дистанционные решения существенно повышают гибкость и доступность теоретической подготовки и отдельных процедурных элементов практики, что особенно важно для непрерывного профессионального развития (CPD) моряков в рейсах. Систематизированы ключевые проблемы интеграции ДОТ: регуляторные (требования А-I/6 и А-I/12 ПДНВ, валидация и аккредитация, идентификация обучаемых), методические (формирование «чувства судна», BRM/ERM, языковая практика по SMCP), технические (неравномерная связность флота, требования к пропускной способности для симуляций и VR/AR), психолого-педагогические (мотивация, саморегуляция, цифровой разрыв). Проанализированы перспективы: гибридные модели («перевернутый класс»), облачные симуляторы, иммерсивные VR/AR-среды, адаптивные платформы и геймификация.

Ключевые слова: морское образование, дистанционное обучение, проблемы ДО, перспективы ДО, ПДНВ, СОЛАС, гибридное обучение, VR/AR-симуляторы, облачные симуляторы, CPD, цифровизация образования.

R.I. Izotchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: Izotchenko_RI@kamchatgtu.ru*

CHALLENGES AND PROSPECTS OF DISTANCE LEARNING IN MARITIME EDUCATION

The purpose of the article is to comprehensively analyze the specific challenges and opportunities of introducing distance learning technologies (DLT) into the maritime education system. It is shown that the international regulatory environment (STCW and SOLAS), focuses on the training of seafarers to confirm practical competencies, conduct regular on-board training, and use certified simulators, which limits the potential of purely online formats. At the same time, distance solutions significantly increase the flexibility and accessibility of theoretical training and individual procedural elements of practice, which is especially important for the continuous professional development (CPD) of seafarers on voyages. The key problems of DLT integration have been systematized: regulatory (requirements of A-I/6 and A-I/12 STCW, validation and accreditation, and identification of trainees), methodological (formation of a “sense of the vessel”, BRM/ERM, and language practice according to SMCP), technical (uneven fleet connectivity, requirements for bandwidth for simulations and VR/AR), and psychological and pedagogical (motivation, self-regulation, and digital divide). The following perspectives have been analyzed: hybrid models (inverted classroom), cloud simulators, immersive VR/AR environments, adaptive platforms, and gamification.

Key words: maritime education, distance learning, DL problems, DL prospects; STCW, SOLAS, hybrid learning, VR/AR simulators, cloud simulators, CPD, digitalization of education.

Цифровизация и автоматизация судоходства предъявляют новые требования к подготовке персонала: необходимо быстро обновлять знания об оборудовании, процедурах и регуляторных требованиях, в том числе связанных с декарбонизацией и альтернативными видами топлива.

Пандемия COVID-19 ускорила переход к дистанционным форматам даже в консервативной сфере морского образования, показав как преимущества (масштабируемость, гибкость, персонализация), так и ограничения (валидация практических навыков, надежность оценки, дефицит живого взаимодействия). Для моряков, проводящих большую часть времени в рейсах, ДОТ открывают возможности непрерывного профессионального развития (CPD) без отрыва от работы.

Морское образование по своей сути практико-ориентировано и жестко регламентировано международными актами. ПДНВ/STCW, устанавливает стандарты обучения и оценки (А-І/6), а также требования к использованию тренажеров (А-І/12); СОЛАС (глава III, рег. 19) предписывает регулярные бортовые тренировки. Это создает противоречие с дистанционным форматом, который затрудняет подтверждение практических компетенций и командных поведенческих навыков. Недостаточно исследованы устойчивые модели интеграции ДОТ в учебный процесс морских вузов и центров подготовки в соответствии с указанными стандартами.

Цель исследования – комплексный анализ проблем и определение перспективных направлений развития дистанционного обучения в морском образовании.

Задачи исследования: выявить нормативно-правовые и содержательные ограничения для ДО; систематизировать технические, методические и психолого-педагогические проблемы; проанализировать технологические решения (VR, AR, облачные симуляторы, адаптивные платформы); предложить практико-ориентированную модель гибридного обучения.

Теоретические и нормативные основы морского образования

Специфика и структура подготовки. Подготовка моряков включает взаимосвязанные компоненты: теоретическую базу (навигация, правила плавания, конструкции и механизмы судна, электрика и автоматика, безопасность мореплавания); практические действия и процедурные алгоритмы (маневрирование, работа с швартовыми и якорным устройством, грузовые операции, аварийно-спасательные действия, пожарная безопасность, ГМССБ, РЛС/АРПА, ECDIS); психологическую и командную подготовку (Bridge/Engine Resource Management – BRM/ERM) и речевые навыки по стандартным морским фразам SMCP. Трехуровневая структура обуславливает необходимость сочетать теоретические занятия, симуляционную подготовку и практику на судах [1].

Требования международных конвенций. ПДНВ/STCW, и Кодекс к ней устанавливают обязательные минимальные стандарты компетентности, процедур оценки и квалификации преподавателей/оценщиков (А-І/6). Раздел А-І/12 задает стандарты к тренажерам и допускает замену части практики симуляцией при обеспечении реалистичности и достижении целей обучения [2]. Раздел В-І/6 содержит руководство по применению дистанционного и электронного обучения при условии одобрения Администрацией и соблюдения качества. СОЛАС (глава III, рег. 19) требует регулярных бортовых тренажей по аварийным процедурам, что подчеркивает практико-ориентированный характер подготовки.

Роль симуляционной подготовки. Симуляторы классифицируются на навигационные (включая мостиковые комплексы, РЛС/АРПА, ECDIS), машинные (ERS), грузовые/танкерные, по связи (ГМССБ), а также специализированные (например, борьба за живучесть) [3]. Их применение закреплено ПДНВ/STCW и поддерживается модельными курсами ИМО (в частности, 1.22 Bridge Resource Management) и отраслевыми стандартами сертификации (DNV-ST-0033). С 2021 г. введен «класс D» для облачных симуляторов, что открыло возможность удаленной тренажерной подготовки под контролем инструктора при соблюдении требований к качеству [4].

Ключевые проблемы внедрения дистанционного обучения

Нормативно-правовые барьеры. Для ряда компетенций ПДНВ/STCW, требует очного присутствия и демонстрации практических навыков на тренажерах, отвечающих А-І/12; оценка должна выполняться квалифицированными оценщиками по А-І/6. Раздел В-І/6 допускает e-learning и дистанционное обучение, но при условии предварительного одобрения Администрацией, прозрачности процедур, защищенности и идентификации личности. Валидация дистанционных курсов затруднена, особенно при отсутствии сертифицированных симуляторов и защищенных экзаменационных процедур.

Методические и содержательные проблемы. Полный перенос на онлайн практических действий (вязка узлов, работа со швартовыми, аварийное развертывание ПСН, борьба за живучесть) невозможен без сертифицированных симуляторов или реальных средств. Формирование «чувства судна» требует корректной маневренной динамики, визуализации и обратной связи от инструктора; командные навыки BRM/ERM и речевые практики по SMCP лучше всего формируются в усло-

виях очного взаимодействия. Даже при высоком уровне моделирования дистанционная среда снижает интенсивность невербальной обратной связи и затрудняет ситуационное лидерство.

Технические и инфраструктурные ограничения. Высокореалистичная симуляция и VR/AR-тренинги предъявляют высокие требования к каналу связи. Несмотря на быстрое распространение LEO-сервисов (например, Starlink), часть флота по-прежнему имеет ограниченный или отсутствующий доступ к интернету, а качество канала неравномерно. Это ограничивает синхронные упражнения и удаленные лаборатории. Дополнительные барьеры – стоимость разработки и поддержки качественных цифровых ресурсов, требования к защищенности инфраструктуры и киберустойчивости.

Психолого-педагогические аспекты. Асинхронный формат повышает требования к самодисциплине и метапознанию; без целенаправленного дизайна курсов мотивация и вовлеченность снижаются [5]. Сохраняется «цифровой разрыв» между преподавателями и студентами; вопросы академической добросовестности и конфиденциальности прокторинга требуют продуманных решений.

Перспективные направления и возможные решения

Гибридные (смешанные) модели (Blended Learning). Рациональная архитектура курса предполагает: онлайн-изучение теории (видеолекции, кейсы, тесты с банком вопросов и формативной обратной связью) с методологией [6] «перевернутого класса»; далее – очные тренажерные сессии для отработки процедур и оценки компетенций по А-I/12; завершение – анализ ошибок и оформленное «электронное портфолио» с артефактами достижений (протоколы симуляций, логи, чек-листы). Такая модель сохраняет регуляторное соответствие и повышает эффективность использования аудиторного времени.

VR/AR-технологии. Иммерсивные VR-среды позволяют безопасно отрабатывать редкие и опасные сценарии (пожар, эвакуация, работа в замкнутых пространствах), заходы в порт/маневры, а также повышают вовлеченность и удержание знаний; исследования в сфере МЕТ демонстрируют прирост показателей успеваемости по сравнению с традиционными методами на этапах первичного освоения. AR полезна для изучения устройства механизмов, когда обучаемый видит скрытые узлы, последовательности операций и параметры в реальном масштабе времени.

Облачные симуляторы и адаптивные платформы. Появление сертифицируемых облачных симуляторов [7] (класс D по DNV-ST-0033) – Kongsberg K-Sim Connect, Wärtsilä Cloud Simulation [8] – позволяет проводить дистанционные упражнения под руководством инструктора, обеспечивая регистрацию действий, автоматическую проверку и реплеи сценариев. Адаптивные системы дозируют сложность, а геймификация поддерживает мотивацию. Для зачета ключевых компетенций итоговая оценка должна выполняться на сертифицированном оборудовании в очном формате.

Организационные и методические решения. Для CPD целесообразно развивать MOOC и микро-курсы по новым регуляторным темам (альтернативные топлива, кибербезопасность, энергоэффективность). Виртуальные классы и коворкинги поддерживают ролевые коммуникации (SMCP) и кейсы BRM/ERM. Электронные портфолио и единые банки метрик позволяют сопоставлять результаты между потоками и центрами подготовки, качество обеспечивается процедурами по А-I/6 и национальными руководствами (например, AMSA).

Дистанционное обучение не способно полностью заменить традиционное в морском образовании из-за требований к практической подготовке, очной аттестации и бортовым тренажам (СОЛАС III/19, ПДНВ А-I/6, А-I/12).

Наибольший эффект достигается в гибридных моделях: онлайн-форматы берут на себя теорию, самоподготовку и часть процедурной практики, тогда как отработка и подтверждение компетенций осуществляются очно на сертифицированных тренажерах и/или на борту. Ключевые перспективы – VR/AR и облачные симуляторы (класс D по DNV-ST-0033), а также адаптивные платформы и геймификация, они расширяют охват и гибкость при сохранении требований к качеству и верификации личности.

Разумная интеграция ДОТ повышает гибкость, доступность и эффективность морского образования, особенно в части теории и CPD, не снижая требований к безопасности.

Перспективы дальнейших исследований: разработка и валидация методик интеграции VR/AR в РУПы и рабочие программы дисциплин; экономическая оценка траекторий подготовки (полный мостиковый комплекс vs. VR/облако) с учетом ТСО; лонгитюдные исследования влияния гибридных моделей на компетентность и производственные показатели выпускников.

Литература

1. IMO. STCW Convention [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/stcw-convention.aspx> (дата обращения: 22.10.2025).
2. STCW Code, Section A-I/12 [Электронный ресурс]. – URL: https://diving-rov-specialists.com/index_htm_files/law_12-stcw-convention-1978.pdf (дата обращения: 22.10.2025).
3. STCW Code, Section B-I/6: Guidance regarding training and assessment (включая дистанционное обучение) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.imorules.com/Chunk520096840.html> (дата обращения: 22.10.2025).
4. STCW – A Guide for Seafarers: раздел о дистанционном обучении (A-I/6) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mptusa.com/pdf/STCW_guide_english.pdf (дата обращения: 22.10.2025).
5. IMO. SOLAS, Chapter III – Summary; Regulation 19 Emergency training and drills [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/SummaryOfSOLASChapter3-default.aspx> (дата обращения: 22.10.2025).
6. IMO. Standard Marine Communication Phrases (SMCP) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/standardmarinecommunicationphrases.aspx> (дата обращения: 22.10.2025).
7. DNV. ST-0033 Maritime Simulator Systems – класс D для облачных симуляторов (новость) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dnv.com/news/2021/dnv-adds-new-class-for-cloud-based-simulation-203199/> (дата обращения: 22.10.2025).
8. Wärtsilä. Cloud/Navigational Simulation – DNV Class D (07.07.2021) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.wartsila.com/media/news/07-07-2021-wartsila-navigational-simulator-becomes-first-interactive-instructor-led-cloud-training-solution-to-gain-new-dnv-class-d-certification-2944557> (дата обращения: 22.10.2025).

УДК 378:656.61

М.Д. Кочкин

*Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород, 603155
e-mail: mrflomingo@gmail.com*

ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕДОВОЙ ХОДКОСТИ СУДНА НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-АВТОМОБИЛЬНО-ПАССАЖИРСКОГО ПАРОМА

Развитие транспортной инфраструктуры России в Арктике и субарктических регионах требует создания судов, способных эффективно работать в сложных ледовых условиях. Одним из направлений является проектирование железнодорожно-автомобильно-пассажирских паромов для линии Ванино – Холмск, где зимой акватория покрыта льдом. В статье рассматриваются методы оценки ледовых качеств судна, включая расчет ледовой ходкости, предельной ледопроеходимости и сопротивления битому льду. В работе использованы методы трехмерного моделирования в САПР SolidWorks и аналитические расчеты по существующим методикам для оценки ледовых характеристик судна. Результаты подтвердили, что паром может преодолевать лед толщиной до 1,2 м с сохранением безопасности и остойчивости.

Ключевые слова: предпроектный экспресс-анализ, ледопроеходимость, ледовая ходкость, битый лед.

M.D. Kochkin

*Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, 603155
e-mail: mrflomingo@gmail.com*

PRELIMINARY ANALYSIS OF VESSEL ICE PROPULSION PERFORMANCE USING A RAILROAD-PASSENGER FERRY

The development of transport infrastructure in Russia's Arctic and sub-Arctic regions requires the creation of vessels capable of operating effectively in challenging ice conditions. One of the key areas is the design of railroad-passenger ferries for the Vanino–Kholmok route, where the water is covered by thick ice for most of the winter. This paper discusses methods for pre-design assessment of ice performance, including calculations of ice-breaking ability, maximum ice passability, resistance to broken ice, and the impact of icing on stability. The study utilized 3D modeling in SolidWorks CAD and analytical calculations using existing methods to assess the ice performance of a vessel. The results confirmed that the designed ferry can navigate ice up to 1.2 meters thick while maintaining safety and stability.

Key words: preliminary express analysis, icebreaking technology, ice navigation capability, broken ice.

Развитие транспортной инфраструктуры России, особенно в регионах, нуждающихся в круглогодичных и стабильных морских перевозках, требует создания специализированных судов, способных эффективно и безопасно эксплуатироваться в суровых климатических условиях. Одной из ключевых задач в рамках данной проблемы является обеспечение регулярного грузопассажирского сообщения между портами Ванино и Холмск через Татарский пролив.

В настоящее время на линии Ванино – Холмск эксплуатируются четыре парома (табл. 1) средний возраст которых составляет 36 лет. Для их замены требуются новые современные суда – железнодорожно-автомобильно-пассажирские паромы.

Сложные климатические условия в Татарском проливе осложняют круглогодичную навигацию. Зимой на маршруте между материковой частью России и Сахалином судоходство серьезно затрудняется из-за интенсивного образования льда и его консолидации. В открытой акватории Татарского пролива толщина льда достигает 60–70 см, а в заливах и портовых зонах – до 100 см и более. Частые циклоны с северо-западным, северным и восточным ветрами способствуют формированию плотного ледяного покрова, особенно в подходах к порту Ванино, где на расстоянии 20–30 миль часто наблюдается сученность и сплоченность льда до 7 баллов.

Основные характеристики эксплуатируемых судов

Название	Класс судна по Правилам РМРС	Год постр.	V, уз.	D, т	Кол-во пас., чел.	Кол-во автом., ед.	Кол-во вагонов, ед.
Сахалин-8	КМ (*) L1 [1] R1 Ro-ro passenger ship	1985	16,8	8 530	80	37	26
Сахалин-9	КМ (*) UL [1] R1 Ro-ro passenger ship	1986	16,8	8 530	80	37	26
Сахалин-10	КМ (*) UL [1] R1 Ro-ro ship	1992	16,8	8 530	80	37	26
Александр Деев	КМ (*) Arc5 AUT1-ICS OMBO ANTI-ICE ECO	2019	18	11 789	200	39	32

Согласно многолетним наблюдениям (с 1971 г.), ледообразование начинается в середине декабря – начале января, достигает максимума к середине февраля, а очистка акватории от льда обычно происходит к середине марта.

Суровая ледовая обстановка в этом районе требуют разработки судна с особыми ледовыми качествами.

Цель работы: предложить методику проведения предпроектного анализа ледовых качеств судна на примере железнодорожно-автомобильно-пассажирского парома для линии Ванино – Холмск [2]. Характеристики проекта парома приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики железнодорожно-автомобильно-пассажирского парома для линии Ванино – Холмск

Параметр	Величина	Параметр	Величина
Длина по КВЛ, м	120,9	Коэф. полноты мидель-шпангоута	0,998
Ширина по КВЛ, м	24,0	Экипаж, чел	16
Высота борта, м	16,15	Автономность, сут	5
Осадка, м	6,50	Дальность плавания, миль	ок. 1 500
Водоизмещение массовое, т	14 171	Дедвейт, т	5 800
Водоизмещение объемное, м ³	13 825	Скорость, узлов	18 / 12
Коэф. общей полноты	0,733	Мощность, кВт	18 560
Коэф. полноты ватерлинии	0,869	Двигатель	2 × ВРШ
Вместимость	ж/д цистерны Т-1 – 52 шт.; автопоезда – 14 шт.; автомобили – 28 шт.; контейнеры 20-ф. – 12 шт.		

На основе характеристик была спроектирована цифровая 3-мерная модель корпуса парома в программном комплексе SolidWorks (SW), представленная на рис. 1.

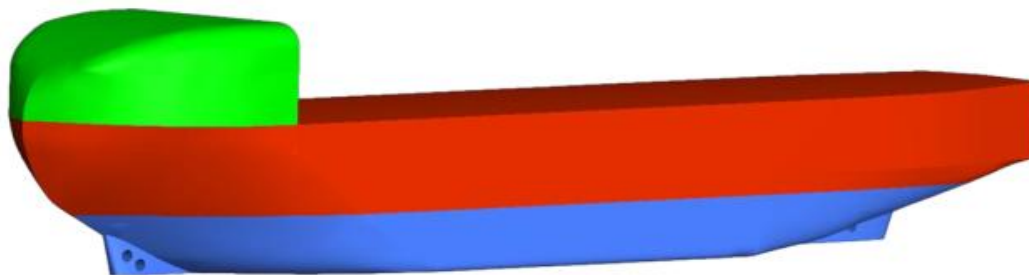


Рис. 1. 3D-модель корпуса парома в SolidWorks

При проектировании судна ледового плавания ключевой задачей является оценка его способности эффективно работать в ледовых условиях района эксплуатации (в данном случае – парома на линии Ванино – Холмск). Для решения этой задачи уже на самых ранних этапах желательно выполнить предварительную оценку ледовых качеств судна, которая в будущем будет неоднократно уточняться со все возрастающей детализацией. В данной работе предложена методика самого раннего предпроектного экспресс-анализа, позволяющего с минимальными затратами получить прогноз будущих ледовых качеств судна.

Для этого необходимо выполнить следующие исследования:

- 1) оценить ледовую ходкость в сплошном льду;
- 2) рассчитать предельную ледопроездимость;
- 3) оценить ледовую ходкость в битом льду;
- 4) провести анализ обледенения и его влияние на остойчивость.

Ледовая ходкость в сплошном льду (метод Зуева). Для прогнозирования ледовой ходкости судов в ровном сплошном льду широко используются полуэмпирические методы расчета. За последнее время появились новые усовершенствованные методы, учитывающие физическую модель льда и форму корпуса. Такие методы, естественно, повышают точность прогнозов, но одновременно их математические модели становятся довольно сложными.

Поэтому на начальном этапе проектирования судна (например, на этапе разработки технического задания) можно применить простой экспресс-метод прогнозирования ледовой ходкости судна в ровном сплошном льду.

В данной работе для расчета ледового сопротивления и ледопроездимости применена модифицированная формула В.А. Зуева [3]:

$$R = c_1 N B h^{1,25} + \rho g B h^2 \left(c_2 \frac{B}{h} + c_3 Fr_h + c_4 Fr_h^2 \right), \quad (1)$$

где $N = \sqrt[4]{12 g \rho_e (1 - \mu^2) \sigma_{\text{и}}^2 E^{-1,25}} = 4,87313$;

коэффициенты $c_1 = 6,023$, $c_2 = 0,02$, $c_3 = 0,29$, $c_4 = 1,31$;

$\sigma_{\text{и}} = 600$ – прочность льда на изгиб, кПа;

$E = 5 \times 10^6$ – модуль упругости, кПа;

$r = 1/\alpha$ – радиус концентрической трещины;

$\alpha = 4\sqrt{\rho g/d}$ – параметр изгиба пластины на упругом основании;

$d = Eh^3/12(1 - \mu^2)$ – цилиндрическая жесткость ледяной пластины;

$\mu = 0,33$ – коэффициент Пуассона льда;

$B = 24,0$ – ширина корпуса по КВЛ, м;

толщина льда $h = 0,2 \div 1,2$ м;

$Fr_h = v/\sqrt{gh}$ – числа Фруда по толщине льда;

$\rho = 0,91$ – плотность льда т/м³;

$g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Тяга парама на гаке аппроксимирована выражением:

$$P_r = P_{\text{ш}} \left[1 - 0,4 \left(\frac{v}{v_0} \right) - 0,6 \left(\frac{v}{v_0} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где $P_{\text{ш}} = 1\,640$ кН – тяга на швартовых;

v – скорость судна в текущий момент времени;

$v_0 = 9,25$ м/с – скорость движения на чистой воде при заданной мощности.

Модифицированная формула В.А. Зуева была верифицирована относительно трех современных полуэмпирических методов. Методика верификации описана в работе [3]. Относительная погрешность модифицированной формулы В.А. Зуева приведена на рис. 2.

Расчет сопротивления парама, выполненный по методике В.А. Зуева, приведен на рис. 3.

Проектируемый паром подтвердил способность преодолевать сплошной лед толщиной 1,2 м со скоростью 3 м/с, что соответствует требованиям для переправы Ванино – Холмск.

Расчет предельной ледопроездимости. Еще одна из важнейших характеристик ледоколов и судов ледового плавания, записываемая в паспорт судна. Ледопроездимость определяется максимальной толщиной сплошного бесснежного морского льда, в котором судно может продвигаться с минимальной устойчивой скоростью непрерывного хода.

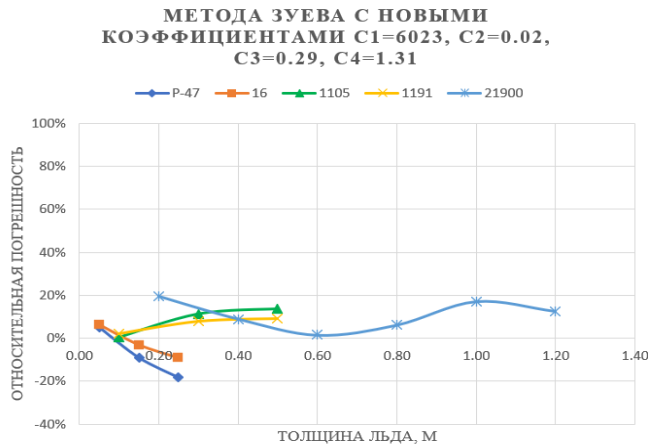


Рис. 2. Относительные погрешности метода Зуева для ледоколов проектов 16, 1105, 1191, 21900

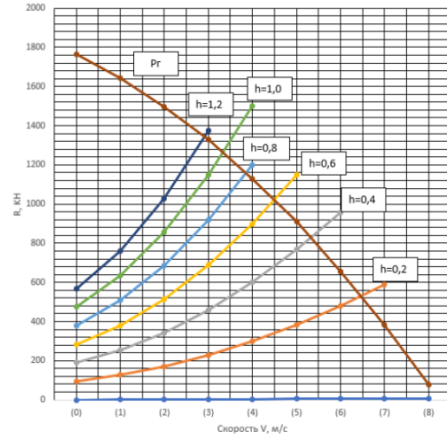


Рис. 3. Ледовое сопротивление проекта паром в ровном бесснежном льду

В соответствии с требованиями РМРС [1] для оценки ледопроеходимости судов используются как расчетные методы, так и испытания. Для оценки величины ледопроеходимости в отечественной практике широко используются эмпирические формулы. В работах [4–6] подробно рассмотрена как история развития расчетных методов, так и их современное использование. Наиболее применяемым расчетным методом является формула Л.Г. Цоя, усовершенствованная И.А. Титовым и в окончательном виде опубликованная С.Н. Климашевским в 2012 г. [6]:

$$h_{\text{lim}} = 0,02 \cdot \frac{L}{F \cdot \left(\frac{D}{N_{\text{ICE}}} + 1,63 \right)}, \quad (3)$$

где $L = 120,9$ – длина судна по ватерлинии, м;

$F = \sqrt{2 \cdot (\cos \beta + f_D \cdot \cot \alpha) \cdot \sin \alpha}$ – функция формы носовой оконечности судна;

$N_{\text{ICE}} = N_{\Sigma} \div 9,81 = 1,892 \cdot 10^6$ – мощность энергетической установки судна, необходимая для форсирования сплошного ледового поля, т;

f_D – коэффициент динамического трения корпуса судна о лед. Для покрытия типа Инерта-160 $f_D = 0,072$;

$\alpha = 31^\circ$ – угол входа КВЛ в ДП;

$\beta = 48^\circ$ – угол развала борта на 0 шпангоуте;

$D = 14\,183$ т – массовое водоизмещение паромов.

Подставляя численные значения для паромов итоге, получаем значение: $h_{\text{lim}} = 1,22$ м.

Таким образом, проектируемое судно имеет обводы достаточно скоростного судна, что позволяет обеспечить оперативное сообщение с островом Сахалин. Из-за наличия ледовой категории Arc5 и укрепленной носовой и кормовой оконечности уровня Arc7, судно может самостоятельно заходить в порт Ванино, где наблюдается тяжелая ледовая обстановка в течение трех-четырех месяцев в зимне-весенний период года.

Расчет сопротивления битого льда методом В.А. Зуева. Суда ледового плавания значительную часть времени эксплуатируются в битых льдах. Поэтому для получения полной характеристики ходовых качеств судна оценку сопротивления битого льда провести необходимо.

В силу разных известных причин исследования, направленные на создание методов оценки ходкости судов в битых льдах, не получили широкого распространения и достаточного развития. Наиболее полный перечень методов для оценки ледового сопротивления в битых льдах представлен в работе [7]. В частности, среди них можно выделить методы: А.Я. Рывлина, В.А. Зуева, Н.В. Калининой.

Следует заметить, что все методы не учитывают либо почти не учитывают особенностей формы корпуса и взаимодействия судна со льдом. Поэтому в работе [7] специально подчеркива-

ется: «Для оценочных расчетов с равновероятной надежностью может быть использован любой из рассмотренных методов. При этом результаты расчетов нуждаются в проверке по результатам модельных испытаний в ледовом бассейне».

Для оценки ледового сопротивления нами выбран метод В.А. Зуева, поскольку он разработан с возможностью применения к транспортным судам.

Расчет сопротивления битого льда в методе В.А. Зуева реализован с помощью формулы [7]:

$$R = \frac{\rho_{\text{л}} g B h^2}{\left(\frac{B_{\text{к}}}{B}\right)^{\frac{3}{4}}} \times \left(\frac{0,13B}{h} + 1,3Fr_h + 0,5Fr_h^2 \right) s^2 (2-s), \quad (3)$$

где h – толщина льда, м (максимальная толщина льда для $\text{Arc5 } h_{\text{бит}} = 1,2 \text{ м}$ [1]);

$\rho_{\text{л}} = 0,91 \text{ т/м}^3$ – плотность морского льда;

$Fr_h = V/\sqrt{gh}$ – число Фруда по толщине льда;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

s – функция сплоченность льда в канале. Принимается в интервале от 0,4 до 0,6;

$B = 18,53 \text{ м}$ – ширина парома;

$B_{\text{к}} = B \times 1,2 = 1,1 \times 24,0 = 28,8 \text{ м}$.

На рис. 4 показано изменение ледового сопротивления судна в зависимости от толщины битого льда при сплоченности 6 баллов. На рис. 5 представлена диаграмма достижимых скоростей при различной сплоченности льда.

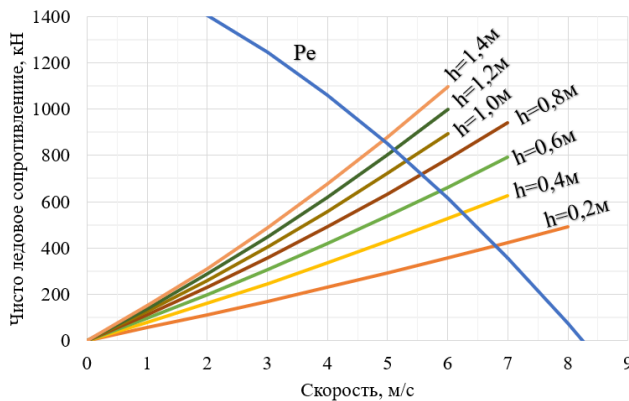


Рис. 4. Сопротивление битого льда проекта парома при сплоченности 6 баллов

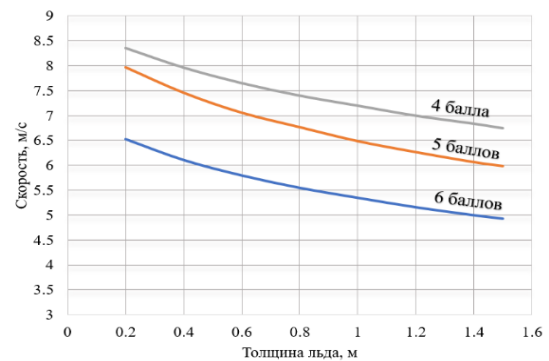


Рис. 5. Диаграмма достижимых скоростей проектируемого парома при различной сплоченности

Из расчетов видно, что проектируемое судно способно двигаться в битом льду толщиной 1,23 м и сплоченностью 6 баллов со скоростью до 10 узлов.

Представленный комплексный экспресс-анализ ледовых качеств судна можно рекомендовать при выполнении предпроектного анализа вариантов судов, а также в учебном процессе вузов.

Литература

1. Российский морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов [Электронный ресурс]. – СПб., 2025. – URL: <https://lk.rsclass.org/regbook/rules> (дата обращения: 04.11.2025).

2. Кочкин М.Д. Обоснование и выбор архитектурно-конструктивного типа железнодорожно-автомобильно-пассажирского парома дедвейтом 5800 т с использованием имитационного моделирования: дипломная работа // Всероссийский инженерный конкурс 2024/25 (победитель). – Нижний Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2025 [Электронный ресурс]. – URL: <https://vikrf.ru/itogi-finala-2024-25/> (дата обращения: 04.11.2025).

3. *Кочкин М.Д.* Прогнозирование ледопроеходимости судов на начальном этапе их проектирования // XXIV Всерос. молод. науч.-техн. конф.: Сборник материалов. – Нижний Новгород, 2025. – С. 463–465.

4. *Таровик О.В., Добродеев А.А.* Оценка ледопроеходимости судов и ледоколов при движении кормой вперед // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2024. – Спец. вып. № 1. – С. 47–62.

5. *Карулин Е.Б., Карулина М.М.* Оценка ледопроеходимости ледокольных судов с помощью простого критерия // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2021. – № 62/63. – С. 62–73.

6. *Огай С.А.* Проектная нагрузка и водоизмещение многоцелевого судна ледового плавания // Морские интеллектуальные технологии: Научный журнал. – 2015. – Т. 1, № 3 (29). – С. 13–28.

7. *Ионов Б.П., Грамузов Е.М.* Ледовая ходкость судов. – 2-е изд. – СПб.: Судостроение, 2013. – 504 с.

УДК 656.61:629.7.05

Н.Н. Перепелкин, С.Ю. Труднев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: trudnev@mail.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЫБОЛОВНОГО ПРОМЫСЛА

В данной статье рассматриваются перспективные направления модернизации технического оснащения рыбопромысловых судов. Основной акцент сделан на практических аспектах внедрения цифровых навигационных систем, автоматизированных средств контроля и современных методов обработки данных. Представленные решения направлены на комплексное повышение эффективности промысловой деятельности при одновременном снижении эксплуатационных затрат и экологической нагрузки.

Ключевые слова: автоматическая идентификационная система, радар, электронная картографическая навигационно-информационная система, стандарт коммуникации.

N.N. Perepelkin, S.Yu. Trudnev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: trudnev@mail.ru*

OPTIMIZATION OF ELECTRONIC NAVIGATION SYSTEMS TO IMPROVE FISHING EFFICIENCY

This article discusses promising areas of modernization of the technical equipment of fishing vessels. The main focus is on the practical aspects of the introduction of digital navigation systems, automated controls and modern data processing methods. The presented solutions are aimed at comprehensively improving the efficiency of fishing activities while reducing operating costs and environmental burden.

Key words: Automatic Identification System, radar, ECNIS, Communication protocol.

Современный рыболовный промысел требует комплексного подхода к обработке навигационных и гидроакустических данных. В данной статье представлен обзор современных радионавигационных и гидроакустических систем, а также устройств обработки сигналов, позволяющих эффективно объединять информацию от судовых приборов с возможностью гибкой настройки под конкретные условия промысла.

Практические испытания подтвердили, что использование современных систем повышает точность обнаружения рыбных скоплений [1], снижает затраты на топливо и улучшает безопасность мореплавания. В этих условиях особую актуальность приобретает внедрение интегрированных электронных систем, сочетающих функции позиционирования, гидролокации и автоматизированного управления.

Рыбопромысловые суда оснащены множеством датчиков, каждый из которых предоставляет ценную, но разрозненную информацию. Традиционные методы обработки данных не всегда позволяют оперативно принимать решения, что снижает эффективность промысла.

Современные судовые навигационные комплексы претерпели значительные изменения за последнее десятилетие. На смену отдельным приборам пришли многофункциональные системы, объединяющие данные спутникового позиционирования (ГЛОНАСС/GPS), инерциальные измерительные блоки и цифровые картографические сервисы [2]. Особое значение имеет точность определения координат в условиях интенсивного морского волнения. Современные инерциальные системы способны компенсировать погрешности, вызванные качкой за счет ис-

пользования сложных алгоритмов фильтрации данных. Параллельно с этим развиваются методы коррекции позиционирования с помощью дифференциальных GPS-станций, устанавливаемых на береговых объектах.

В условиях интенсивного судоходства и сложных промысловых работ современные рыболовные суда оснащаются комплексом навигационных систем, среди которых особое значение имеют ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) и AIS (Automatic Identification System). Эти технологии, дополняя друг друга, создают надежную систему контроля окружающей обстановки, что особенно важно при работе в ограниченной видимости или в перегруженных рыболовных районах.

Автоматический радиолокационный прокладчик курса представляет собой сложный программно-аппаратный комплекс, работающий в связке с судовым радаром. В отличие от простых радиолокационных систем, которые лишь отображают окружающие объекты, ARPA обладает способностью автоматически сопровождать цели, вычисляя параметры их движения с высокой точностью. Особенность ARPA заключается в его способности обнаруживать объекты, не оснащенные AIS, включая маломерные суда, рыбацкие лодки или плавучие препятствия. Однако система имеет ограничения – эффективная дальность действия обычно не превышает 30–40 морских миль, а точность зависит от состояния моря и атмосферных условий.

В отличие от ARPA, работающего на основе радиолокационных принципов, AIS представляет собой цифровую систему обмена навигационной информацией между судами. АИС (AIS – Automatic Identification System) – это система автоматической идентификации и обмена данными между судами, береговыми станциями и спутниками [3]. Ее главная цель – повышение безопасности мореплавания. Представьте себе «транспондер» для корабля, который постоянно передает в эфир всю ключевую информацию о себе и, в свою очередь, «видит» поблизости все другие суда, оснащенные АИС. Если радар показывает «что-то есть», то АИС отвечает на вопросы: «Кто ты? Куда идешь? И что собираешься делать?» [4]. С заданной частотой оно транслирует в эфир пакет данных, в который вкладывает свою цифровую визитную карточку. Это не просто координаты с GPS. Это – имя («Nordic Spirit»), личный номер (MMSI), вид (тип – контейнеровоз, длина 200 метров) и, что самое главное, – намерения и действия: скорость 18 узлов, курс 245°, статус «на ходу», порт назначения – Роттердам. Одновременно с этим судно принимает такие же послания от всех окружающих его «собеседников» в радиусе десятков миль. Капитан видит не просто цель, а целостную картину: он мгновенно идентифицирует судно-партнер, прогнозирует его движение, вычисляет точку наибольшего сближения и время до нее. Он видит, что танкер «Лукойл» в пяти милях вперед снизил ход и меняет курс, а паром «Принцесса Анастасия» на пересекающейся орбите сохраняет скорость и статус «не управляется».

Принцип работы основан на протоколе TDMA (Time Division Multiple Access) – множественный доступ с разделением по времени. Эфир делится на 2 250 временных «слотов» в секунду. Каждая станция (судно) «знает», в какой слот ей передавать, чтобы сигналы разных судов не мешали друг другу.

Разумеется, ни одна система не является идеальной. Приходится сталкиваться с проблемами, такими как недостоверность вводимых данных, риск кибератак и необходимость помнить, что АИС не заменяет, а дополняет радиолокационное наблюдение. Тем не менее можно с уверенностью утверждать, что АИС заложила основу для будущего интеллектуального судовождения. Она стала тем фундаментом, на котором строятся более сложные системы: от предсказательного анализа до полностью автономного судоходства.

Современный поиск рыбы и других гидробионтов представляет собой сложный технологический процесс, основанный на применении специализированных гидроакустических комплексов. Эти системы эволюционировали от простых эхолотов-рыбоискателей до интегрированных систем, обеспечивающих не только обнаружение, но и классификацию, количественную оценку и мониторинг поведения промысловых объектов.

Основу промысловой разведки составляют многолучевые и раздельно-лучевые эхолоты. В отличие от навигационных MBES, промысловые системы работают на оптимизированных для обнаружения организмов частотах, typically в диапазоне от 18 до 200 кГц. Ключевым параметром является не только плотность лучей, но и возможность раздельного управления диаграммой направленности на передачу и прием. Это позволяет применять метод двойной кривизны луча, который обеспечивает компенсацию искажений на краях акустического веера и существенно повышает точность определения размеров и местоположения объектов в толще воды.

Современные системы осуществляют количественную оценку скоплений с помощью методов экосигнальной интеграции. Алгоритмы, основанные на преобразовании энергии отраженного сигнала, позволяют оценивать плотность скопления и биомассу. При этом производится поправка на поглощение звука в воде, рефракцию и зависимость отражательной способности цели от ее размера и видовой принадлежности.

Для точной классификации целей применяется многочастотное зондирование. Одновременная работа на нескольких частотах позволяет анализировать частотный отклик целей. Поскольку соотношение отраженной энергии на разных частотах уникально для различных видов рыб, их размерных групп и даже типов планктона, это дает возможность проводить предварительную видовую идентификацию. Например, различие в отклике на 38 и 120 кГц является надежным индикатором для различения пелагических рыб с плавательным пузырем и без него.

Перспективным направлением является использование широкополосных сигналов и технологий когерентной акустики. Широкополосное зондирование обеспечивает получение более детальной информации о структуре цели, в то время как анализ фазовой информации сигнала позволяет с высокой точностью дифференцировать отдельные особи в плотном скоплении и определять их пространственную ориентацию.

Интеграция гидроакустических данных с океанографическими параметрами представляет собой следующий уровень развития промысловой разведки. Современные системы коррелируют данные о скоплениях гидробионтов с показателями температуры, солености, концентрации хлорофилла а и содержания растворенного кислорода. Это позволяет не только находить скопления, но и прогнозировать их перемещение на основе изменений гидрологической обстановки, формируя основу для экосистемного подхода к промыслу.

Обработка данных осуществляется в реальном времени с использованием алгоритмов машинного обучения. Нейросетевые модели, обученные на обширных базах акустических образов, автоматически классифицируют обнаруженные цели с минимальным участием оператора. Трехмерная визуализация в системах, подобных OLEX, позволяет отображать скопления не как совокупность точек, а как объемные объекты с точной привязкой ко дну или определенному горизонту толщи воды, что критически важно для планирования тралений и оценки уловистости.

Таким образом, современные технологии промысловой разведки представляют собой комплекс взаимосвязанных решений, преобразующих акустические данные в тактическую информацию для принятия управленческих решений. Дальнейшее развитие связано с повышением автоматизации, интеграцией с беспилотными носителями и созданием прогнозных моделей распределения гидробионтов на основе комплексного анализа окружающей среды.

Эволюция электронной картографической навигационно-информационной системы (ЭКНИС) привела к ее трансформации из инструмента визуализации в центральный узел управления судном. Современная ЭКНИС представляет собой кибернетическую платформу, обеспечивающую интеграцию гетерогенных данных для формирования целостной модели операционной обстановки.

Функциональность системы основана на способности агрегировать и синтезировать информационные потоки от дискретных источников. Система объединяет данные спутниковой навигации (GPS/GLONASS), радиолокационного наблюдения (ARPA), автоматической идентификационной системы (AIS), гидроакустических измерений (эхолот/гидролокатор), данных о курсе и скорости поворота судна (гироскоп), данных о скорости судна (лаг), метеорологического мониторинга и многих других.

Ключевым аспектом является реализация функций ситуационного моделирования и прогнозирования, расчеты основываются на непрерывном анализе текущих и прогнозируемых параметров движения.

Важнейшим свойством платформы является обеспечение поддержки принятия оперативных решений. Через подсистемы автоматизированного предупреждения экипаж получает своевременные оповещения о выходе за установленные границы безопасности. Алгоритмы анализа позволяют производить многовариантное моделирование маневров для выбора оптимальной траектории движения. Интеграция с метеоданными и системами автоматизации судна обеспечивает расчет экономически эффективных маршрутов с учетом совокупности навигационных и эксплуатационных факторов.

Таким образом, современная ЭКНИС функционирует как комплексная система управления [3], где процессы сбора данных, аналитической обработки и формирования решений объе-

динены в единый технологический контур. Это позволяет перейти от реактивного к проактивному управлению судном, существенно повышая уровень безопасности и операционной эффективности морских перевозок.

NMEA 0183: Стандарт последовательной коммуникации в морской электронике. Для интеграции вышеперечисленного электронного оборудования на судне Национальной ассоциацией морской электроники США (National Marine Electronics Association) был разработан протокол NMEA 0183. Он представляет собой стандартизированный интерфейс для последовательного обмена данными. Несмотря на появление более современных протоколов, таких как NMEA 2000, NMEA 0183 сохраняет статус одного из фундаментальных стандартов в морской индустрии.

Протокол NMEA 0183 функционирует на основе асинхронной последовательной передачи данных. На физическом уровне используется интерфейс RS-422 (в более поздних версиях, начиная с v3.0) или RS-232 (в ранних реализациях), что обеспечивает достаточную помехозащищенность для большинства судовых применений. Система организуется по топологии «ведущий-ведомый» (Talker-Listener), где одно ведущее устройство (например, GPS-приемник) может передавать данные нескольким ведомым устройствам (например, ЭКНИС, радиолокационной станции, авторулевому).

Формат данных представляет собой поток печатных ASCII-символов, структурированных в виде дискретных предложений (sentences). Каждое предложение представляет собой законченный пакет информации, начинающийся с символа «\$» или «!» и завершающийся символами возврата каретки и перевода строки (<CR><LF>).

Синтаксическая структура предложения выглядит следующим образом:

\$aaBBB,ccc,ccc,...,ccc*hh<CR><LF>, где, \$ – стартовый символ, aa – идентификатор источника данных (Talker ID), BBB – идентификатор типа предложения (Sentence ID), определяющий его семантику и структуру, ccc – последовательность данных (полей), разделенных запятыми, * – символ, обозначающий начало контрольной суммы, hh – шестнадцатеричная контрольная сумма, вычисляемая путем исключающего ИЛИ (XOR) всех байтов предложения между символами \$ и *.

Взаимодействие устройств в рамках данного протокола осуществляется по следующему принципу. Ведущее устройство, например, GPS-приемник, непрерывно, в циклическом режиме, транслирует в последовательный порт набор предложений (\$GPRMC, \$GPGGA и др.). Ведомые устройства, такие как ЭКНИС или авторулевой, находящиеся в режиме постоянного прослушивания порта, принимают этот поток данных. Каждое ведомое устройство программно настроено на «фильтрацию» и парсинг только тех идентификаторов предложений, которые необходимы для его функционирования. Так, ЭКНИС извлекает из потока \$GPRMC и \$GPGGA для отображения позиции на карте, в то время как авторулевой может использовать \$HEHDT для удержания заданного курса.

Таким образом, протокол NMEA 0183, несмотря на свои ограничения в скорости и поддержке сети «один-ко-многим» в полной мере, сыграл ключевую роль в стандартизации морской электроники. Его текстовый, человеко-читаемый формат способствовал простоте отладки и интеграции.

Проведенный анализ технологических решений – от интегрированных ЭКНИС и высокоточных многолучевых эхолотов до систем промысловой разведки – позволяет сделать фундаментальный вывод. Современное судоходство претерпело качественную трансформацию, перейдя из эпохи механической эксплуатации судов в эру управления на основе данных.

Критическая важность работы с данными, унифицированными протоколом NMEA 0183 и его преемниками, заключается в следующих ключевых аспектах:

1. Формирование единого информационного пространства. NMEA 0183 выполняет роль лингва франка для судовой электроники. Это создает основу для работы сложных кибернетических систем, где целостность ситуационной осведомленности напрямую зависит от способности подсистем обмениваться структурированными данными.

2. Синергия технологий для достижения операционного превосходства. Сами по себе устройства – лишь источники сырых данных. Их истинная ценность раскрывается при интеграции. Так, координаты от GPS-приемника (\$GPGGA), курс от гирокомпаса (\$HEHDT) и данные многолучевого эхолота, передаваемые по тому же стандарту, в среде интеллектуальной ЭКНИС

синтезируются в цифровую модель, позволяющую не только видеть рельеф дна, но и прогнозировать безопасную траекторию судна с учетом его динамических параметров.

Стандартизированный поток данных является топливом для алгоритмов машинного обучения и предиктивного моделирования. Возможность автоматизированного сбора и обработки массивов информации о работе оборудования, условиях окружающей среды и результатах промысла открывает путь к решению задач нового уровня: от прогнозирования состояния механизмов до моделирования миграций гидробионтов.

Таким образом, стандарт NMEA 0183 и современные измерительные комплексы образуют технологический комплекс, который является нервной системой современного судна. Не отдельное устройство, а именно способность системы к агрегации, передаче и интеллектуальному анализу стандартизированных данных становится ключевым фактором конкурентоспособности и безопасности. Это определяет стратегическое направление развития отрасли: создание не просто автоматизированных, а интеллектуальных и связанных судов, где решения принимаются на основе комплексного анализа целостной цифровой картины операционной среды.

Литература

1. Регистровая книга [Электронный ресурс] / Российский морской регистр судоходства. – URL: <http://www.rs-class.org/ru/register/info/regbook.php> (дата обращения: 05.10.2025).
2. Судовые радионавигационные приборы: Учебник для мореход. училищ. 5-е изд., перераб. и доп. / В.В. Коновалов, Л.И. Кузнецова, Н.П. Мельников, О.Б. Причкин. – М.: Транспорт, 1989. – 223 с.
3. Судовая автоматическая идентификационная система / А.Н. Маринич, И.Г. Проценко, В.Ю. Резников, Ю.М. Устинов, Р.Н. Черняев, А.Р. Шигабутдинов // Судостроение. – 2004. – 207 с.
4. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года (СОЛАС-74). (Консолидированный текст, измененный Протоколом 1988 года к ней, с поправками). – СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2010. – 992 с.

УДК 664.95.038

А.Н. Шереметьев, Е.А. Лутцева

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: Sheremet.2004@yandex.ru*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ УПАКОВКИ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ

В статье представлено исследование по разработке системы автоматического контроля качества упаковки рыбной продукции на основе нейронных сетей. Актуальность работы обусловлена высокой скоростью порчи рыбных товаров и строгими требованиями к их безопасности. В качестве решения предлагается использование модели YOLOv11n для бинарной классификации дефектов упаковки на конвейерной линии. Проведено тестовое обучение нейронной сети, решающей задачу обнаружения повреждений упаковки в режиме реального времени. Проанализированы преимущества и недостатки по сравнению с классическими методами диагностики. Перспективы работы связаны с дообучением модели на сбалансированных данных и интеграцией системы в промышленный комплекс для автоматической отбраковки дефектной продукции.

Ключевые слова: нейронные сети, компьютерное зрение, YOLO, датасет, рыбная промышленность, дефект упаковки.

A.N. Sheremetev, E.A. Luttseva

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: Sheremet.2004@yandex.ru*

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR RECOGNIZING PACKAGING DEFECTS IN FISH PRODUCTS

The article presents a study on the development of an automatic quality control system for fish product packaging based on neural networks. The relevance of the work is driven by the high spoilage rate of fish products and strict safety requirements. As a solution, the use of the YOLOv11n model for the binary classification of packaging defects on a conveyor line is proposed. A test training of a neural network designed to detect packaging damage in real-time mode was conducted. The advantages and disadvantages compared to the classical diagnostic method are analyzed. The future prospects of the work are associated with further training of the model on balanced data and the integration of the system into an industrial complex for the automatic rejection of defective products.

Key words: neural networks, computer vision, YOLO, dataset, fish industry, packaging defect.

Рыбная промышленность – это одна из динамично развивающихся отраслей пищевого производства, каждый год появляются новые технологии по хранению, упаковке и обработке. Контроль качества в таких условиях очень важен, ведь рыба является скоропортящимся продуктом и любое повреждение упаковки может привести к нарушению герметичности, и продукт станет непригоден к употреблению.

Ручная проверка качества, конечно, хороша, но обладает некоторыми недостатками. У человека спустя несколько часов монотонной работы начинает «замыливаться глаз», и он может пропустить некоторые мелкие повреждения, которые окажутся критичными для рыбной продукции. Также скорость современных конвейерных линий не оставляет большого временного окна для проверки, в таких условиях можно обратиться к технологиям искусственного интеллекта. Нейронные сети с использованием компьютерного зрения позволяют избежать ошибок и привести проверку к единому стандарту, который не подвержен субъективной оценке конкретного работника.

Данный подход уже активно используется для задач обработки рыбной продукции. Например, в работе [1] описана теоретическая разработка системы автоматической сортировки рыбы, основанная на нейронных сетях, в работе [2] рассматривается вопрос применения нейронных сетей для распознавания промысловых гидробионтов в условиях повышенной флуктуации.

Целью данного исследования является разработка системы распознавания дефектов упаковки рыбной продукции. Для решения данной цели выделяется следующий ряд задач:

- изучение основных типов повреждений упаковки рыбной продукции и их влияния на качество товара;
- создание набора данных (датасета) и обучение нейронной сети;
- анализ полученных результатов.

Актуальность данного исследования определяется несколькими факторами. Во-первых, рыбная продукция относится к категории скоропортящихся товаров, требующих особых условий хранения и транспортировки. Любое нарушение целостности упаковки может привести к быстрой порче продукта и угрозе для здоровья потребителей. Во-вторых, жесткие требования законодательства в области пищевой безопасности обязывают производителей обеспечивать максимальный контроль на всех этапах производства. В-третьих, рост конкуренции на рынке и повышение требований потребителей к качеству продукции делают автоматизацию контроля не просто желательной, но необходимой для сохранения конкурентоспособности предприятия.

Рассматриваемая работа является одной из частей по созданию автоматизированного комплекса сортировки на основе нейронных сетей, который предполагает создание программного и аппаратного обеспечения. Аппаратная платформа представляет собой конвейерную линию, управляемую программируемыми логическими контроллерами, для транспортировки упакованной в коробки рыбной продукции. Программный модуль, анализируя поступающие изображения, классифицирует качество продукции, в результате чего дефектные коробки автоматически направляются по ответвлению конвейера для отбраковки, что иллюстрирует схема на рис. 1.

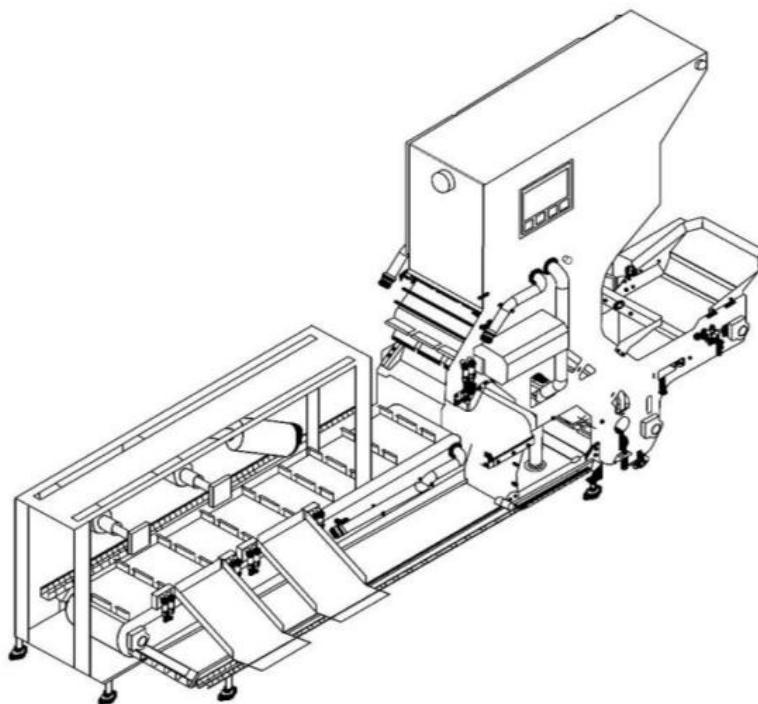


Рис. 1. Схема конвейерной линии

Набор данных. Основная задача – определить факт наличия или отсутствия повреждений. Поэтому для ее решения использовалась бинарная классификация, которая идеально подходит в таких ситуациях. Для начального этапа тестирования был выбран уже размеченный набор изображений *corrugated-box-defect* с платформы Roboflow [3]. Платформа специализируется на предоставлении датасетов, собранных другими пользователями с целью обучения нейронных сетей различной классификации и задач.

Готовый датасет позволил проверить реализуемость самой идеи и примерную нагрузку на оборудование при обучении, что сэкономило огромное количество времени, необходимое для сбора данных датасета, а также позволило сосредоточить все внимание на самом процессе обучения и выборе модели обучения.

На рис. 2 приведен пример изображения из датасета [4] с разметкой.



Рис. 2. Пример разметки

Обучение нейронной сети. Для обучения нейронной сети была выбрана модель YOLO [5].

YOLO (You Only Look Once) – семейство моделей обнаружения объектов и сегментации изображений в реальном времени. Преимущество этих моделей в уникальном подходе, который отражен в ее названии, она рассматривает обнаружение объектов как единую задачу регрессии и позволяет выполнить обработку за один проход через нейронную сеть, это обеспечивает высокую скорость работы и обучения моделей. Для некоммерческого использования он распространяется по лицензии AGPL-3.0, которая предусматривает открытый исходный код и бесплатное использование в образовательных целях. А для коммерческих задач у них есть отдельная корпоративная лицензия, так что ее использование не ограничено лишь образовательными целями.

Для решения поставленной задачи была выбрана самая легковесная модель YOLOv11n, где n – nano. YOLOv11 – это крайнее на данный момент поколение, которое демонстрирует значительный рост в точности и скорости обработки. YOLOv11n – это самая компактная модель, она содержит всего 2,6 млн параметров, а размер модели 5,1 МБ.

Ключевые характеристики [6]:

- размер входного изображения: 640 пикселей;
- FLOPs (вычислительная сложность) 6,5 G;
- скорость 1,5 миллисекунды на TensorRT10 и 56,1 на CPU ONNX;
- mAP (50–95%) точность 39,5.

Модель использует современные техники оптимизации, включая Focus-слои для эффективной обработки изображений, SPPF (Spatial Pyramid Pooling Fast) модули для извлечения контекстной информации.

Выбор этой модели обусловлен в первую очередь отсутствием необходимого оборудования для обучения с использованием более мощных моделей на 50 и более миллионов параметров, а также небольшими требованиями к оборудованию для ее обучения и запуска, это позволяет использовать ее на промышленном оборудовании с ограниченными вычислительными ресурсами. В таких условиях она демонстрирует оптимальное соотношение между получаемой точностью и затрачиваемыми ресурсами. Обучение проводилось на стационарном компьютере на базе GPU Nvidia RTX 3070 и CPU Intel Core I7-8700, основная нагрузка пришлась на GPU и специальные CUDA-ядра, ускоряющие обучение.

Перед началом процесса обучения нейронной сети была проведена полная настройка программного окружения, включающая установку и настройку всех необходимых компонентов для эффективного использования CUDA-ядер GPU, которые ускоряют обучение в десятки раз по сравнению с обучением на мощностях CPU. Первым этапом стала установка NVIDIA CUDA Toolkit версии 12.1 [7], обеспечивающего полную поддержку вычислений на GPU. CUDA Toolkit включает в себя компилятор nvcc, библиотеку cuBLAS, а также набор утилит для разработки и отладки CUDA-приложений. Установка проводилась с официального сайта NVIDIA.

Процесс обучения модели был настроен с минимальными изменениями от базовых параметров, т. к. данные уже подготовлены и начальные параметры подходят для задачи классификации повреждений. Количество в 50 эпох было определено эмпирическим путем. Обучение было настроено так, что при запуске на большее число эпох автоматически сохраняется модель с наилучшими весами на основе итоговых метрик. При работе с датасетом объемом 2 910 тренировочных изображений модель демонстрирует стабилизацию функции потерь к 45–50 эпохе.

Анализ результатов. Обученная модель после 50 эпох продемонстрировала достаточно устойчивое снижение потерь, а признаков переобучения не наблюдается. Полученные значения показывают высокий уровень точности до 92%, что является довольно неплохим показателем. Тем не менее результаты указывают на необходимость дальнейшей работы: значение полноты не превышает 60–65%, а это означает, что модель не обнаруживает все повреждения. Значения mAP-50 составляют около 0,70, такие результаты можно назвать удовлетворительными для модели распознавания объектов.

Лучших результатов достиг класс «No Defect», что обусловлено значительным преобладанием его образцов в исходном датасете (90–95%). Поэтому класс, связанный с повреждениями, обрабатывается гораздо хуже: выборка изображений несбалансированная и требует большего количества изображений с повреждениями. Но даже такие результаты позволяют надежно определять коробки без повреждений и на основании этого отсеивать остальные. Все метрики обучения по ходу 50 эпох приведены на рис. 3.

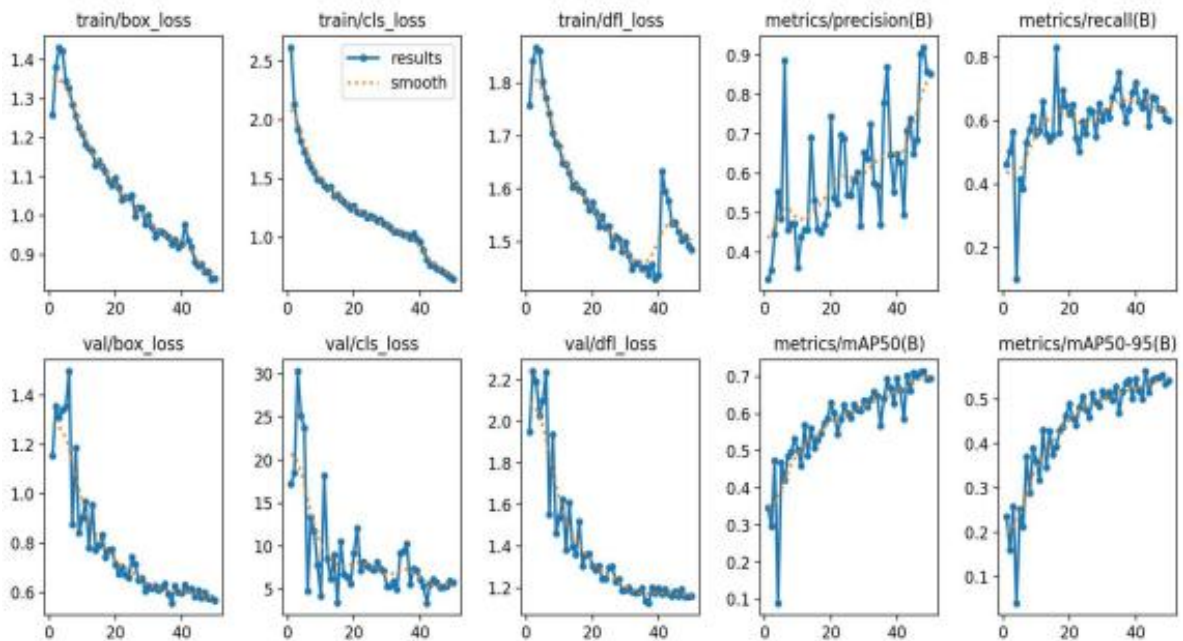


Рис. 3. Результаты обучения

Полученные результаты нельзя назвать идеальными и подходящими для внедрения на производство в данный момент, требуется их дальнейшая доработка. Основные проблемы на данном этапе:

1. Неудовлетворительное определение поврежденных объектов. Низкая точность обнаружения дефектов связана с несбалансированным датасетом, в котором огромный перевес по количеству изображений в пользу целых.

2. Необходимость создания специализированного датасета. Универсальные датасеты имеют низкую эффективность для обучения моделей, которые будут применяться на конвейерных линиях рыбных производств. Для решения рассматриваемой задачи рекомендуется создание датасета с учетом конкретных условий, например, сбор изображений непосредственно на производстве: фиксация всех отбракованных коробок в течение шести месяцев. Это позволит собрать большую базу для обучения и достигнуть высокой, практически идеальной точности в определении дефектов.

Полученные результаты говорят о необходимости доработки имеющихся данных. Точность обнаружения дефектов в 59% можно сравнить с результатом уставшего к концу смены работника, который пропускает половину дефектов. Для достижения необходимых метрик необходимо изменить датасет. Этого можно достичь путем расширения класса с дефектами за счет добавления нескольких тысяч изображений, демонстрирующих различные степени выраженности повреждений.

Наилучшей точности можно добиться, создав специализированный датасет, учитывающий особенности конкретного производства: условия окружающей среды, ракурсы съемки и объем

данных, которые предприятие может собрать с действующих конвейеров. Такой подход обеспечивает максимальную эффективность обучения модели.

Данный подход в конечном итоге поможет избежать человеческих ошибок при контроле качества, связанных с субъективной оценкой и усталостью персонала. Это даст предприятию конкурентное преимущество на рынке по сравнению с компаниями, использующими традиционные методы.

Дальнейшая работа в рамках данного исследования предполагает создание специализированного датасета и обучение модели на полученных данных.

Литература

1. *Ивановский А.Н.* Применение нейронных сетей в системах сортировки рыбы на судах рыбопромышленного флота // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии. – 2023. – № 2. – С. 112–118.

2. *Алексеев П.П., Квятковская И.Ю.* Применение нейронных сетей в системе распознавания промысловых гидробионтов в условиях повышенной флуктуации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2022. – № 2. – С. 76–86. – DOI 10.24143/2072-9502-2022-2-76-86.

3. Roboflow [Электронный ресурс]. – URL: <https://roboflow.com> (дата обращения: 26.10.2025).

4. Corrugated Box Defect [Электронный ресурс] / Roboflow Universe. – URL: <https://universe.roboflow.com/kardus/corrugated-box-defect> (дата обращения: 27.10.2025).

5. Ultralytics YOLO. [Электронный ресурс] / Ultralytics. – URL: <https://docs.ultralytics.com/ru/> (дата обращения: 29.10.2025).

6. YOLOv5 vs YOLOv11: A Comprehensive Comparison [Электронный ресурс] / Ultralytics Documentation. – URL: https://docs.ultralytics.com/compare/yolov5-vs-yolo11/#strengths_1 (дата обращения: 02.11.2025).

7. NVIDIA CUDA Toolkit [Электронный ресурс] / NVIDIA. – URL: <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit> (дата обращения: 03.11.2025).

СЕКЦИЯ 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.43

М.А. Брянцев, А.А. Данилейченко, А.С. Ковтун, Д.М. Доценко

*Луганский государственный университет имени Владимира Даля,
Луганск, 291034
e-mail: 280376@rambler.ru*

ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ЭЖЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ НАДДУВА

Рассмотрены показатели работы эжекционной системы наддува каскадно-теплового сжатия (ЭСН) в составе двигателя 6Ч12/14. Применение ЭСН позволяет преобразовывать тепловую энергию выхлопных газов в энергию сжатого воздуха. Исследовались две модификации ЭСН-10 и ЭСН-11 с дизелем 6Ч12/14. Результаты показали прирост крутящего момента до 12,2%, снижение удельного расхода топлива на 6 г/кВт·ч, уменьшение выбросов сажи на 32% и СО на 31%, стабильность работы в широком диапазоне нагрузок. Преимуществами системы являются простота конструкции, отсутствие сложных механизмов газораспределения, надежность. Перспективы связаны с оптимизацией уплотнений и применением термостойких материалов ротора. Результаты подтверждают целесообразность внедрения ЭСН для повышения энергоэффективности транспортных и стационарных энергоустановок.

Ключевые слова: утилизация теплоты, каскадно-тепловое сжатие, наддув.

M.A. Bryantsev, A.A. Danileychenko, A.S. Kovtun, D.M. Dotsenko

*Lugansk Vladimir Dahl State University,
Lugansk, 291034
e-mail: 280376@rambler.ru*

PERFORMANCE INDICATORS OF THE EJECTOR BOOST SYSTEM

The article is dedicated to the experimental study of the ejector boost system of cascade-thermal compression (EBS), developed for the utilization of secondary heat from the exhaust gases of internal combustion engines. It was found that the use of EBS allows to convert thermal energy from exhaust gases into compressed air energy, thereby increasing engine efficiency. The studies were conducted on a diesel engine 6Ч12/14 with modifications of ESC-10 and ESC-11. The results showed an increase in torque up to 12.2%, a reduction in specific fuel consumption by 6 g/kW·h, a decrease in soot emissions by 32% and CO by 31%, with stable operation over a wide range of loads. The advantages of the system include simple design, absence of complex gas distribution mechanisms and reliability. The results confirm the feasibility of implementing EBS to enhance energy efficiency in both transport and stationary power installations.

Key words: heat utilization, cascade thermal compression, boost.

Повышение топливной экономичности остается ключевым направлением развития двигателей для транспортных средств. Существующие технологии совершенствования рабочих процессов тепловых машин в рамках традиционных конструктивных решений приблизились к пределу своих возможностей. Значительный резерв для роста общего коэффициента полезного действия установки с ДВС кроется в рекуперации тепловой энергии, покидающей установку.

На транспорте наибольший интерес вызывают интегрированные решения, трансформирующие эту бесполезную энергию либо в прирост мощности на валу, либо в увеличение давления воздуха, подаваемого в цилиндры. Тем не менее повсеместному применению существующих рекуперативных технологий мешает значительная стоимость, крупные размеры агрегатов, а также невысокая производительность в условиях низких температур теплоносителя. Сложившаяся ситуация актуализирует потребность в разработке оригинальных архитектур силовых и рекупе-

рациональных модулей, базирующихся на кардинально иных термодинамических циклах. Ключевым требованием к ним становится стабильная эксплуатация при питании от различных источников тепла, в том числе и обладающих невысоким термическим потенциалом.

Одно из перспективных направлений развития теплопреобразующих устройств, разработанное на кафедре ДВС ЛГУ имени В. Даля, базируется на использовании принципа каскадно-теплового сжатия (КТС) рабочего тела в роторных агрегатах непрерывного действия. Теоретические аспекты функционирования машин данного типа, включая специфику их рабочих процессов, рассмотрены в литературе [1]. Вместе с тем остается неисследованным на практике поведение агрегата каскадно-теплового сжатия (КТС) в комбинации с эжекционным наддувом силовой установки. В предложенной конфигурации (рис. 1) компрессор КТС нагнетает воздух, который, в свою очередь, является рабочим телом для струйного аппарата. Именно этот эжектор обеспечивает синхронизацию производительности компрессорной установки с переменным расходом воздуха двигателем.

Исследование нацелено на экспериментальное доказательство гипотезы о повышении эффективности ДВС за счет внедрения новой схемы наддува, основанной на принципе каскадно-теплового сжатия и использующей эжекцию.

Предложенная эжекционная система наддува интегрирована с двигателем 1 и включает два ключевых контура: воздушный и выхлопных газов. Первый состоит из компрессорного модуля 5, канала отбора сжатого воздуха 12 и эжекторного устройства, которое за счет ускоряющего сопла 13 подсасывает атмосферный воздух через патрубок 14. Смесь формируется в камере 15 и подается во впускной коллектор 17. Второй контур образован выпускным трактом 2 и рекуператором 3.

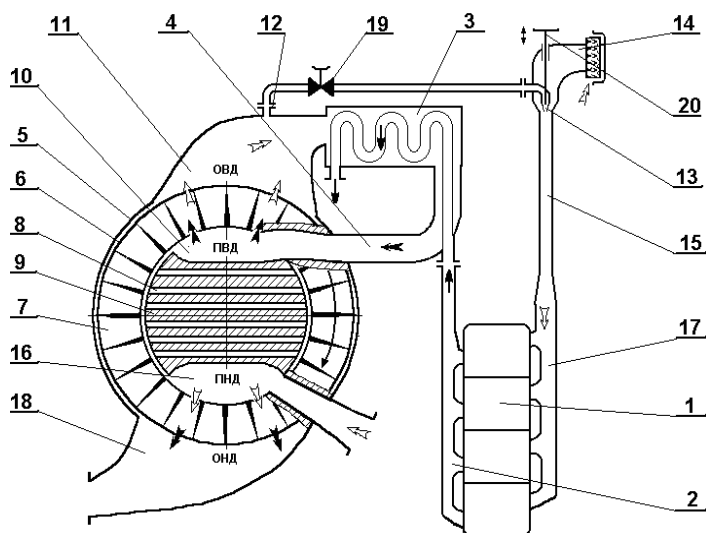


Рис. 1. Эжекторная система наддува (ЭСН): 1 – поршневая часть ДВС; 2 – тракт выпуска ОГ; 3 – рекуператор; 4 – вытеснительная магистраль; 5 – компрессорный модуль; 6 – ротор; 7 – роторная ячейка; 8 – канал статора; 9 – статор; 10 – канал подвода горячего рабочего тела; 11 – канал отвода сжатого рабочего тела; 12 – канал отбора; 13 – ускоряющее сопло; 14 – атмосферный патрубок; 15 – смешительная камера; 16 – подвод атмосферного воздуха; 17 – впускной коллектор; 18 – отвод отработавшего воздуха; 19 – кран; 20 – винт

Функционирование установки базируется на каскадном преобразовании теплоты выхлопа. Покидая цилиндры силового агрегата 1, газы по тракту выпуска 2 попадают в рекуператор 3, где их энергия передается воздуху, циркулирующему в контуре компрессора 5. Далее отработавшие газы выбрасываются в атмосферу.

В компрессорном модуле 5 термическая энергия потока преобразуется в давление. Сжатый воздух подается к соплу 13 струйного аппарата, где, истекая с высокой скоростью, создает разрежение, подсасывая атмосферный воздух через канал 14 и увлекая его за собой. В камере смешения 15 и расширяющемся канале скорости потоков уравниваются, а кинетическая энергия газа переходит в потенциальную – давление возрастает. Образовавшаяся воздушная смесь под давлением поступает через коллектор 17 в цилиндры двигателя 1.

Ключевое преимущество подхода – утилизация тепла выхлопных газов для генерации полезной энергии сжатия. В отличие от классического турбонаддува, где компрессор напрямую связан

с турбиной, создающей сопротивление на выпуске, здесь наддув реализуется при минимальном противодавлении. Это улучшает очистку цилиндров от продуктов сгорания и снижает потери на газообмен, что в итоге ведет к существенному росту мощности и общего КПД двигателя.

Далее анализируются эксплуатационные показатели дизеля 6Ч12/14 с эжекционным наддувом. Основной переменной в исследовании является длина ротора L_p компрессорного модуля: сравниваются конфигурации ЭСН-10 ($L_p = 0,1$ м) и ЭСН-11 ($L_p = 0,11$ м). Испытания велись на стенде ЛГУ им. В. Даля, где ротор компрессорного модуля вращался с частотой 1 500 об/мин и приводился в действие автономным электродвигателем.

Для каждого режима работы компрессорного модуля были получены оптимальные величины отводимого к ускоряющему соплу расхода воздуха, которые соответствовали максимальному давлению наддува ДВС на каждом исследуемом режиме. По этим величинам строились нагрузочные и скоростные характеристики ДВС (рис. 2 и 3). Регулирование расхода воздуха \bar{G} осуществлялось винтом 20, вводимым в ускоряющее сопло 13 для изменения площади его сечения.

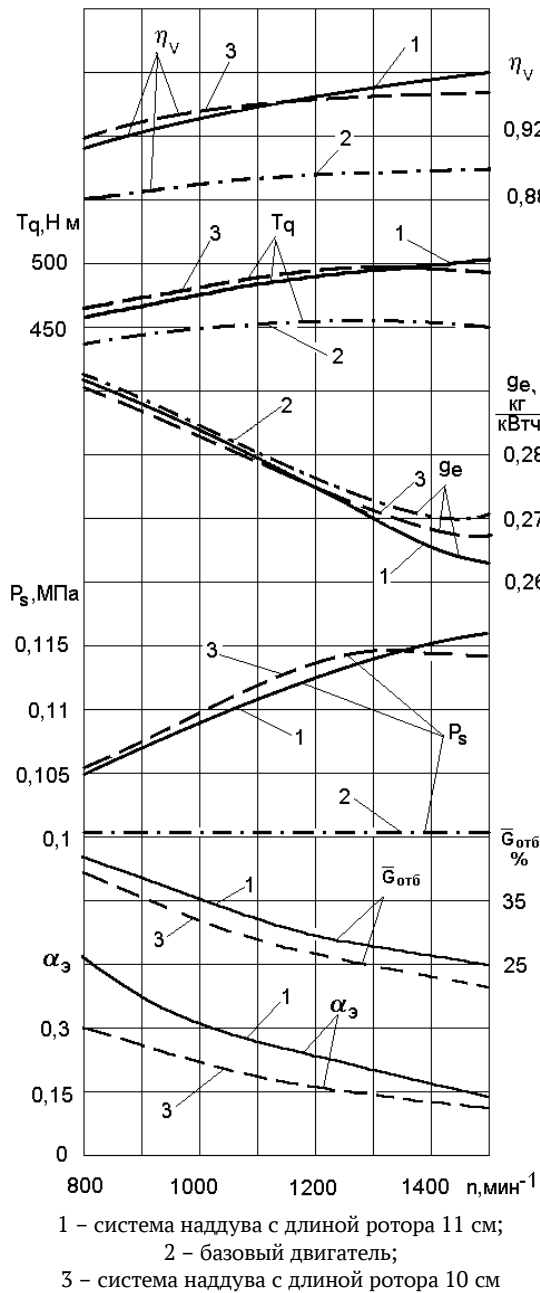


Рис. 2. Зависимость рабочих параметров двигателя от скоростного режима при фиксированной температуре отработавших газов, не превышающей 750 К

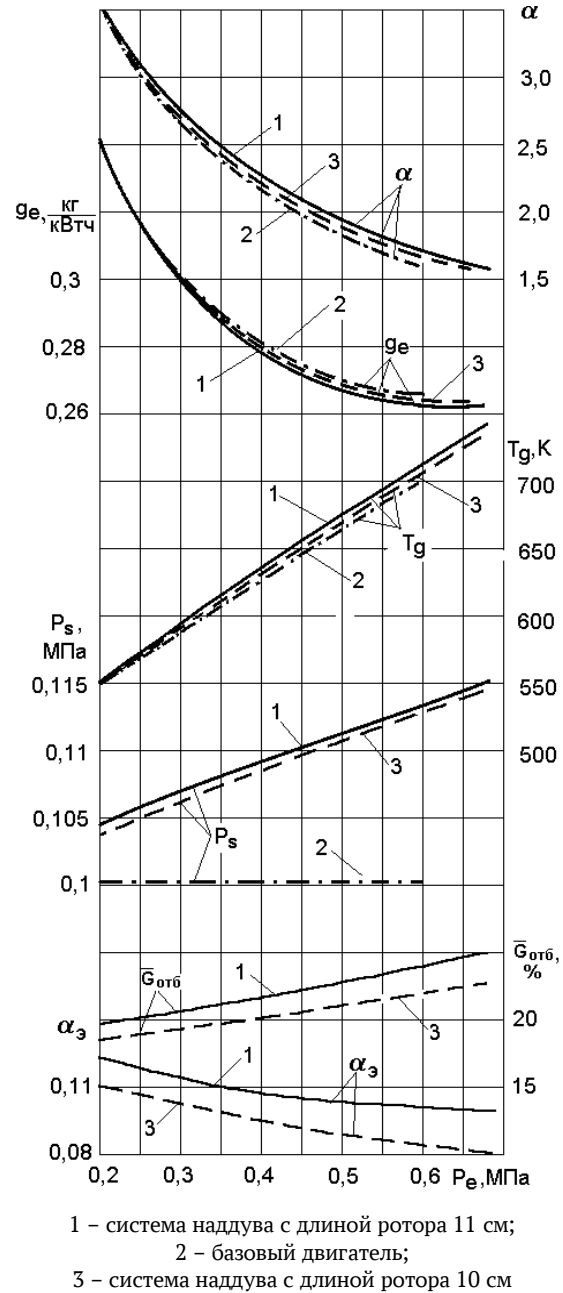


Рис. 3. Характеристика дизеля при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$

Анализ мощностных показателей выявил положительное влияние обеих разработанных систем на значение крутящего момента двигателя по всему рабочему диапазону. Наибольшая эффективность наблюдается на номинальном режиме для конфигурации ЭСН-11, где прирост достигает 55 Н·м (12,2%), уменьшение выбросов сажи на 32% и СО на 31%. Модификация ЭСН-10 на этом же режиме уступает, обеспечивая увеличение на 42 Н·м (9,3%). Однако в низкооборотной зоне, начиная с 1 300 об/мин, картина меняется. Здесь преимущество показывает система ЭСН-10. Например, при 1 100 об/мин крутящий момент для ЭСН-10 составляет 487 Н·м, а для ЭСН-11 – 480 Н·м, что существенно выше показателя базового безнаддувного двигателя (450 Н·м).

Таким образом, модификация ЭСН-11, демонстрирующая пиковую эффективность на номинальной мощности, больше подходит для стационарных установок. В то же время система ЭСН-10, оптимизированная для работы на пониженных оборотах, является предпочтительным выбором для транспортных дизелей, требующих высокой тяги в широком диапазоне скоростей.

Анализ экспериментальных данных выявил нелинейную зависимость между ростом крутящего момента и степенью уплотнения воздушного заряда в цилиндрах при завершении наполнения. Так, при 1 300 об/мин применение системы ЭСН-10 дает прирост момента в 8,4% относительно базового двигателя, в то время как повышение плотности заряда составляет только 4,5%. Это объясняется интенсификацией продувки, ведущей к сокращению доли остаточных газов на 16% и повышению концентрации кислорода в рабочей смеси. Также снижение потерь на газообмен увеличивает механический КПД на 0,8%. В итоге дополнительное улучшение момента формируется не только благодаря повышению наполнения, но и за счет оптимизации термодинамических процессов и сокращения механических потерь.

Экономические показатели двигателя с применением каскадной компрессорной ступени улучшаются при любых нагрузочных режимах (рис. 3). Основная причина – рост индикаторного КПД вследствие улучшения воздухообмена. Так, ЭСН-11 дает рост давления наддува до 0,113 МПа на режиме 1 500 об/мин и нагрузке 0,59 МПа (номинальной для безнаддувной версии), что отражается на обеднении смеси, подтверждаемое коэффициентом избытка воздуха, увеличившегося до значения 1,75 с 1,65. Это приводит к снижению удельного расхода топлива на 6 г/(кВт·ч) и росту эффективного КПД на 2,9%, где 2,2% из этого прироста обеспечено именно повышением индикаторного КПД.

Оценка динамических характеристик системы при резком изменении нагрузки проводилась по величине всплеска частоты вращения и периоду выхода на установившийся режим. Ключевым фактором, влияющим на длительность переходных процессов, является вместимость воздушных магистралей, выполняющих роль энергетического буфера в контуре наддува. При этом инерционность, вносимая теплообменником-утилизатором и газовыми трактами компрессора, оказывали второстепенное влияние.

Проведенные на двигателе 6Ч12/14 испытания показали, что применение ЭСН с воздушными трактами, объем которых увеличен в 1,6 раза, позволяет сократить время стабилизации частоты вращения до уровня, сопоставимого с безнаддувной конфигурацией. Для модификации ЭСН-11 время стабилизации частоты вращения 1 500 мин⁻¹ при 50% нагрузке составляет 3,5 с, для модификации ЭСН-10 аналогичный показатель достигает 3,6 с, безнаддувный двигатель демонстрирует время стабилизации 3,4 с.

Конструктивное решение, в котором отсутствуют сложные вытеснители и золотники, обеспечило системе высокую надежность и легкость технического обслуживания, что и подтвердили 200-часовые испытания. Ключевые наблюдения такие: рабочие характеристики компрессора КТС существенно зависели от величины зазора между ротором и статором, в тестируемой конструкции поддерживался зазор 0,08–0,1 мм, а уменьшение зазора ниже 0,08 мм вызывало риск заклинивания ротора от термических деформаций, увеличение зазора до 0,15 мм приводило к росту утечек рабочего тела на 3% и снижению эффективности системы.

Инженерный компромисс заключается в поддержании минимально возможного зазора, исключающего термическое заклинивание, но предотвращающего чрезмерные утечки. Данный параметр требует точного контроля при производстве и эксплуатации для сохранения энергетической эффективности системы наддува.

Программа дальнейшего совершенствования ЭСН включает внедрение продвинутых технологий уплотнения в зоне сопряжения ротор-статор. Одной из наиболее перспективных мер считается изготовление ротора из керамических композитов, обладающих минимальным термиче-

ским расширением. Проведенные испытания успешно доказали работоспособность концепции, ее способность повышать КПД двигателя и целесообразность рекуперации бросового тепла.

Литература

1. Дьяконов А.А., Сверлов Д.С., Брянцев М.А. Выбор размерных параметров утилизационной системы каскадно-теплого сжатия силовой установки тепловоза // Материалы студенческой открытой интернет-конференции «Первый шаг в науку» (5-6 марта 2024 г.). – Горловка: АДИ ФГБОУ ВО «ДОННТУ». – 2024. – С. 34-40.

УДК 621.86.062

Е.Л. Игнаткина, А.С. Белослудцев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: sel_post@mail.ru*

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ С МАГНИТНЫМ ПРИНЦИПОМ ДЕЙСТВИЯ

В статье рассмотрены основные виды магнитных захватов подъемных кранов, приведена общая схема конструкции магнитного захвата и захвата механического типа для перемещения листового металлопроката. Приведено описание некоторых захватных устройств с магнитным принципом действия, наиболее подходящих для перемещения грузов, обладающих ферромагнитными свойствами. Описаны преимущества и недостатки грузозахватных устройств с магнитным принципом действия по сравнению с захватом механического типа для вертикального перемещения листового металлопроката.

Ключевые слова: подъемный кран, груз, грузозахватное устройство, магнитный захват, погрузочно-разгрузочные работы.

E.L. Ignatkina, A.S. Belosludtsev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: sel_post@mail.ru*

ADVANTAGES OF USING CRANE GRIPPERS WITH MAGNETIC OPERATING PRINCIPLE

The main types of magnetic crane grippers are considered and the general design diagram of magnetic gripper and mechanical gripper for handling sheet metal is presented. Some magnetic grippers that are best suited for handling ferromagnetic loads are described. The advantages and disadvantages of magnetic grippers compared to mechanical grippers for vertically handling sheet metal are shown.

Key words: crane, cargo, cargo gripping device, magnetic gripper, loading and unloading operations.

Без использования подъемных кранов становится невозможной работа современных машиностроительных, транспортных и ремонтных предприятий. Также без перегрузочных машин не обходится строительство зданий и сооружений, транспортирование промышленного оборудования и техники, доставка сырья для производства готовой продукции и в пункты ее хранения до дальнейшей реализации потребителю. Погрузочно-разгрузочные работы, являются неотъемлемой частью процесса транспортирования грузов различного типа. Такие работы относятся к разряду опасных и требуют соблюдения соответствующих требований, при этом особое внимание уделяется характеристикам самой грузоподъемной машины в зависимости от типа груза, который необходимо перемещать [1, 2]. Грузозахватное устройство является одним из главных и определяющих узлов грузоподъемной машины, выбор которого зависит непосредственно от типа перемещаемого груза. Среди многочисленной номенклатуры особое место занимают магнитные захваты, относящиеся к притягивающим захватным устройствам [3]. Их использование позволяет сократить время, затраченное на ведение погрузочно-разгрузочных работ, облегчить труд человека и снизить травматизм на предприятии.

В современной практике для проведения погрузочно-разгрузочных, а также строительно-монтажных работ все более широкое применение находят грузозахватные устройства, принцип действия которых основан на воздействии магнитного поля, создаваемого самим устройством, а значит, грузы должны обладать ферромагнитными свойствами, что сужает их перечень, к ко-

торым применим такой тип грузозахватных устройств. Однако при этом форма и габариты таких грузов могут быть разнообразными, помимо этого, их температурные значения могут достигать до 500°C, а в некоторых случаях до 700°C [4, 5]. Так, для одного из наиболее сложных видов перемещения – листового металлопроката разной толщины – чаще всего используют вертикальный захват механического типа (рис. 1), с помощью которого можно перемещать только один лист за цикл работы грузоподъемной машины [6].

Вертикальный захват для металла | Размеры

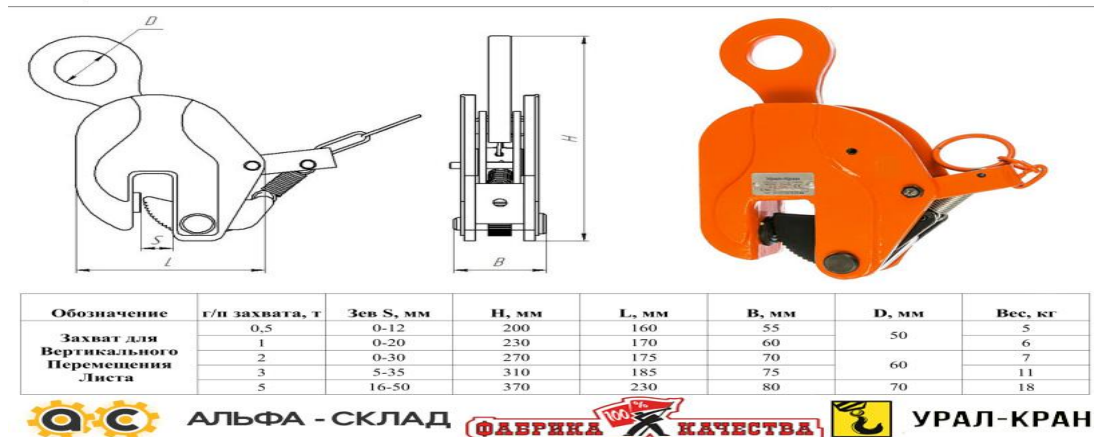


Рис. 1. Вертикальный захват для перемещения листового металла

Строповка и расстроповка груза с помощью такого захватного устройства требует повышенной трудоемкости и снижает производительность транспортирования за одну рабочую смену в связи с ограничением количества перемещаемого груза одним листом за один цикл работы грузоподъемной машины. Кроме этого, использование такого захватного устройства ограничивается размером его зева (S). Также использование данного захвата ограничено твердостью металла, которая не должна превышать 345 единиц НВ. В таблице приведены основные параметры захватов для вертикального перемещения листового металла.

Основные параметры захвата для вертикального перемещения листового металла

Грузоподъемность, т	Зев S, мм	Высота H, мм	Длина L, мм	Ширина B, мм	Вес, кг	Диаметр проушины D, мм
0,5	0-12	200	160	55	5	50
1	0-20	230	170	60	6	
2	0-30	270	175	70	7	60
3	5-35	310	185	75	11	
5	16-50	370	230	80	18	70

Исходя из данных, приведенных в таблице, можно сказать, что толщина транспортируемого листа имеет определяющее значение в выборе механического вертикального захвата, а значит, возникнет необходимость его замены в случае изменения толщины перемещаемого листа металла в течение рабочей смены и, как следствие, произойдет снижение производительности труда [6].

Магнитные грузозахватные устройства способны перемещать одновременно более одного листа за один цикл работы, в зависимости от его массы, шероховатости поверхности и грузоподъемной способности самого захвата, что является основным преимуществом для транспортирования груза, обладающего ферромагнитными свойствами с различной толщиной. Магнитные захваты также можно использовать в комплексе с траверсами при транспортировании длинномерных грузов. Такие захватные устройства просты по своей конструкции и обладают малыми габаритами при высокой грузоподъемности. На рис. 2 приведена общая схема магнитного захвата, представляющего собой корпус из низкоуглеродистой стали 3, в котором расположены катушки магнита 2, а для их защиты от повреждений в процессе эксплуатации катушки закрыты листом 1.

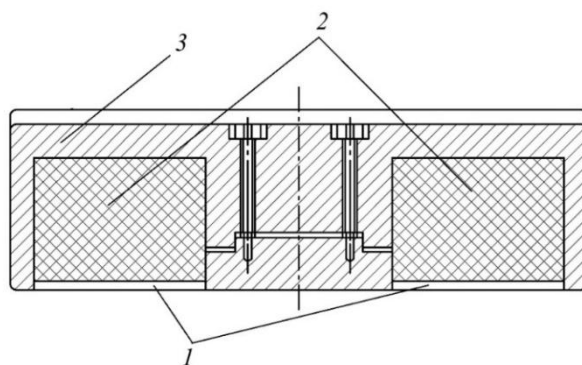


Рис. 2. Общая схема магнитного грузозахватного устройства:
1 – защитный лист; 2 – катушки; 3 – корпус

Магнитные грузозахватные устройства можно разделить на несколько групп. Электромагнитные захваты с внешним источником питания, в которых электроэнергия подводится посредством шлангового кабеля, следовательно, возникает необходимость его закрепления и установки кабельных вращающихся барабанов. Такими захватами оборудуют в основном мостовые и козловые краны, ввиду относительно небольшой высоты подъема грузов, которая составляет до 30 м [7]. Однако их конструкция усложняется наличием резервных аккумуляторов, обеспечивающих удержание груза в течение некоторого времени в случаях непредвиденного отключения электроэнергии или сбоя в работе электрической сети, чтобы предотвратить падение груза. Это необходимо для обеспечения целостности самого груза и безопасности рабочих, находящихся на площадке во время проведения работ. Магнитные захваты, не зависящие от внешнего источника питания, могут быть со встроенными аккумуляторами, но при этом возникает необходимость заряжать их с периодичностью не менее одного раза за 8–10 часов работы. Захваты с постоянными магнитами также оснащены встроенными аккумуляторами, но не требуют периодической подзарядки, а величина магнитной индукции в таких устройствах остается постоянной без возможности ее изменения. В захватах с электропостоянными магнитами используется внутренняя энергия постоянных магнитов, а электрический импульс, создаваемый катушкой, необходим для их активации или деактивации. Для перемещения листового металлопроката наиболее подходящими являются некоторые типы захватных устройств разных производителей, перечисленные ниже.

Магнитные захваты типа МГ российского производителя профессионального промышленного оборудования ООО ТПК «Полидэк» (г. Челябинск). Диапазон грузоподъемности захватов такого типа составляет от 100 кг до 6 000 кг и способны перемещать не только листовую металл, но и элементы конструкций, а также трубы, однако перемещение последнего типа груза снижает грузоподъемность захвата в два раза. Так, МГ-3000 при собственном весе 82 кг может перемещать листовую прокат массой до 3 000 кг, а круглый – до 1 500 кг [8].

Производитель ООО «МАГНИТ плюс» (г. Санкт-Петербург) выпускает магнитные захваты серии МПГ грузоподъемностью от 100 кг до 10 000 кг, магнитное поле которых отключается с помощью роторного механизма поворотом конструктивно предусмотренного рычага без значительного физического усилия. Однако при выборе таких захватов нужно учитывать, что с помощью них возможно перемещать листы толщиной не менее 4 мм и температура перемещаемого груза не должна превышать 50°C, а короткозамкнутое магнитное поле обеспечивает захват только единицы листового проката. Магниты этой серии больше подходят для использования совместно с траверсами [9].

Автоматические захваты типа АМГ, диапазон значений грузоподъемности которых составляет 1 000 кг – 5 000 кг (ООО Промышленный инструмент, г. Москва), предназначены для работы с изделиями, изготовленными из чугуна и углеродистой стали. Управление их магнитной системой может осуществляться без участия стропальщика, в связи с чем значительно сокращается время, затраченное на ведение погрузочно-разгрузочных операций. Захваты этой серии позволяют использовать их для удержания грузов как с плоскими, так и с цилиндрическими поверхностями. Отсутствие энергопотребления дает большое преимущество перед другими аналогами [10].

Магнитный захват FXE-Z (производитель «FLAIG TE») (рис. 3, а) относительно небольшой грузоподъемностью до 500 кг с 8-ю полюсами изготовлен на основе магнитов базовой серии FXE.

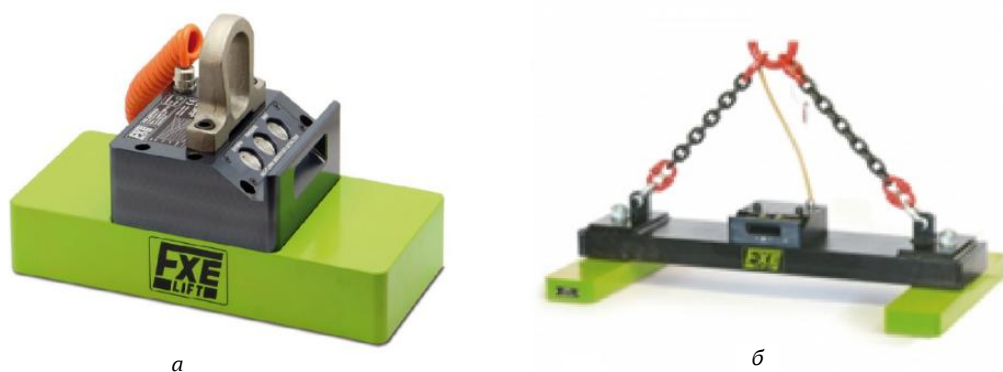


Рис. 3. Магнитный захват FXE-Z: а – общий вид; б – использование захватов в комплексе с траверсой FXE T

Данный захват снабжен функцией демагнетизации, позволяющей снимать остаточный магнетизм с грузов, для некоторых видов грузов это необходимо при их дальнейшей транспортировке, а также для непосредственного использования груза по назначению. Небольшая собственная масса 60 кг позволяет использовать несколько захватов одновременно с использованием траверсы (рис. 3, б) для перемещения крупногабаритного груза [11].

Для транспортирования листового металлопроката с помощью подъемного крана наиболее подходящим будет использование двух или более магнитных грузозахватных устройств FXE-Z в комплексе с траверсой. При выборе магнитного захвата необходимо учитывать не только ферромагнитные свойства и массу перемещаемого груза, но и его форму, и температуру на момент транспортирования, шероховатость поверхности и другие особенности. Использование захватов такого типа позволит сократить время одного цикла работы машины и производительность труда за одну смену благодаря возможности одновременного перемещения нескольких листов разной толщины, а также ввиду отсутствия необходимости замены грузозахватного устройства при изменении толщины листа.

Литература

1. Осипова Е.В., Свидан Н.И. Оценка технического состояния грузозахватного магнита как элемента безопасной эксплуатации подъемного крана // Журнал Межрегиональной Академии строительного и промышленного комплекса (МАСПК). – 2016. – № 4(6) [Электронный ресурс]. – URL: <https://maspk.ru/journal/vypusk-6/osipova-svidan-otsenka-tekhnicheskogo-sostoyaniya-gruzozakhvatnogo-magnita-kak-elementa-bezopasnoy-ekspluatatsiyi-podyemnogo-krana/> (дата обращения: 09.11.2025).
2. Тайц В.Г. Безопасная эксплуатация грузоподъемных машин: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. «Подъем.-трансп., строит. дорож. машины и оборудование». – М.: Академкнига, 2005 (ОАО Ивановская обл. тип.). – 383 с.
3. Агарков А.М., Цакалиди Э.С., Прохоров Д.С. Анализ конструкций электромагнитных грузозахватных устройств // Международный научный журнал «Инновационная наука». – № 03-1/2017. – С. 11–13.
4. ГОСТ 7566-2018 Металлопродукция. Правила приемки, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. – М.: Стандартинформ, 2019. – 26 с.
5. ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
6. Компания «Vulcan» [Электронный ресурс]. – URL: <https://vulcanhoist.com/sites/default/files/documentation/vulcanhoist-vertical-lifting-clamp-svch-descriptive-document.pdf> (дата обращения: 10.11.2025).
7. Грузоподъемные машины: Учеб. для вузов по спец. «Подъем.-трансп. машины и оборуд.» / М.П. Александров и др. – 2-е изд., перераб. – М: Машиностроение, 1986. – 398 с.
8. Российский производитель профессионального промышленного оборудования «Polidek» [Электронный ресурс]. – URL: <https://polidek.ru> (дата обращения: 10.11.2025).

9. Компания ООО «МАГНИТ плюс» [Электронный ресурс]. – URL: https://magnitp.ru/catalog/magnitnye_gruzozahvaty_i_razdelitel_met_listov/magnitnyy-gruzozahvat-seriya-mpgv/?offer=682 (дата обращения: 10.11.2025).

10. Компания ООО «ПКФ Промышленный инструмент» [Электронный ресурс]. – URL: <https://russpromtool.ru/products/avtomaticheskie-magnitnye-gruzozahvaty-amg-2000amg-3000amg-5000> (дата обращения: 10.11.2025).

11. Компания «ЕВРОЛИФТ ГРУПП» Профессиональное грузоподъемное оборудование [Электронный ресурс]. – URL: https://www.euro-lift.net/production/zahvaty/magnet/zahvat_flaign_fxe-z (дата обращения: 10.11.2025).

УДК 629.5.048.3

В.А. Иодис, Н.А. Разеев, К.А. Курбачёв

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: iodisva@mail.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ СУДОВОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

В данной работе проведен технико-экономический анализ судовых, рециркуляционных, централизованных систем комфортного кондиционирования воздуха. Анализ показал их преимущества в сравнении с прямоточными системами. С учетом современных санитарных норм, предъявляемых к рециркуляционному воздуху на морских судах, процесс тепло-влажностной обработки рециркуляционного воздуха был приведен в соответствие с установленными санитарными эпидемиологическими требованиями.

Ключевые слова: судовые системы кондиционирования воздуха, оптимизация, рециркуляция.

V.A. Iodis, N.A. Razeev, K.A. Kurbachev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail:iodisva@mail.ru*

OPTIMIZATION OF MARINE RECIRCULATION AIR CONDITIONING SYSTEM

This paper presents a technical and economic analysis of marine recirculation and centralized comfort air conditioning systems. The analysis demonstrates their advantages over direct-flow systems. Taking into account modern sanitary standards applicable to recirculated air on sea vessels, the process of heat and humidity treatment of recirculated air was aligned to the established sanitary and epidemiological requirements.

Key words: marine air conditioning systems, optimization, recirculation.

Судовая система кондиционирования воздуха (СК) должна обеспечивать комфортное пребывание экипажа морского судна в бытовых и служебных помещениях в любое время года. Применяемые СК сегодня очень разнообразны и классифицируются по способу обработки и подачи воздуха, по месту его обработки, по способу подачи хладоносителя и т. д. [1, 2]. В связи с этим важным является анализ и выбор наиболее технически оптимальной и экономически выгодной системы для того или иного судна [3]. В период повышенных температур наружного воздуха, при нахождении судна в тропических и субтропических широтах, СК отводит из помещений избыток влаги и тепла. Во время прохода судном северных широт, когда температура наружного воздуха понижена, СК обеспечивает увлажнение и нагрев воздуха для внутренних судовых помещений.

В настоящее время на морских судах большое распространение получили одноканальные и двухканальные централизованные системы с рециркуляцией воздуха (СКР). Преимуществом данных систем является меньшая энергоемкость, в сравнении с прямоточными системами, а также в случае двухканальной системы возможность создания индивидуальных параметров воздуха в широких пределах [4, 5]. Проведем технико-экономический анализ данных систем.

Алгоритм функционирования одноканальной централизованной системы с рециркуляцией (СКР I) показан на рис. 1. Фильтрат воздуха окружающей среды из кассетного фильтра 2 подается в теплообменник (паровой) 3. Рециркуляционный воздух смешивается с фильтратом забортного воздуха, проходит все элементы кондиционера в установленном порядке: теплообменник фреоновый 5, увлажнитель 6, теплообменник 3.

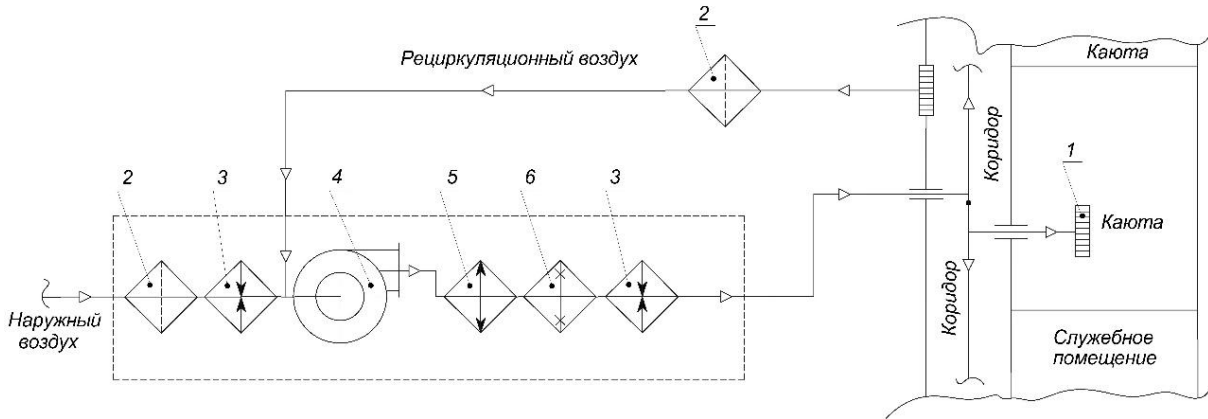


Рис. 1. Схема СКР I:

1 – воздушные жалюзи; 2 – кассетный фильтр (ФВКас); 3 – теплообменник нагревающий (паровой); 4 – вентилятор центробежный; 5 – теплообменник охлаждающий (фреоновый); 6 – увлажнитель (паровой)

На рис. 2. представлен алгоритм функционирования двухканальной системы с рециркуляцией (СКР II), где воздух из окружающей среды и внутренних помещений корабля соединяется, проходит тепло-влажностную обработку до необходимых показателей в кондиционере и нагнетается в жилые помещения. Благодаря подаче воздуха по двум каналам одновременно, имеется возможность персональной регулировки показателей воздушной среды в жилых помещениях.

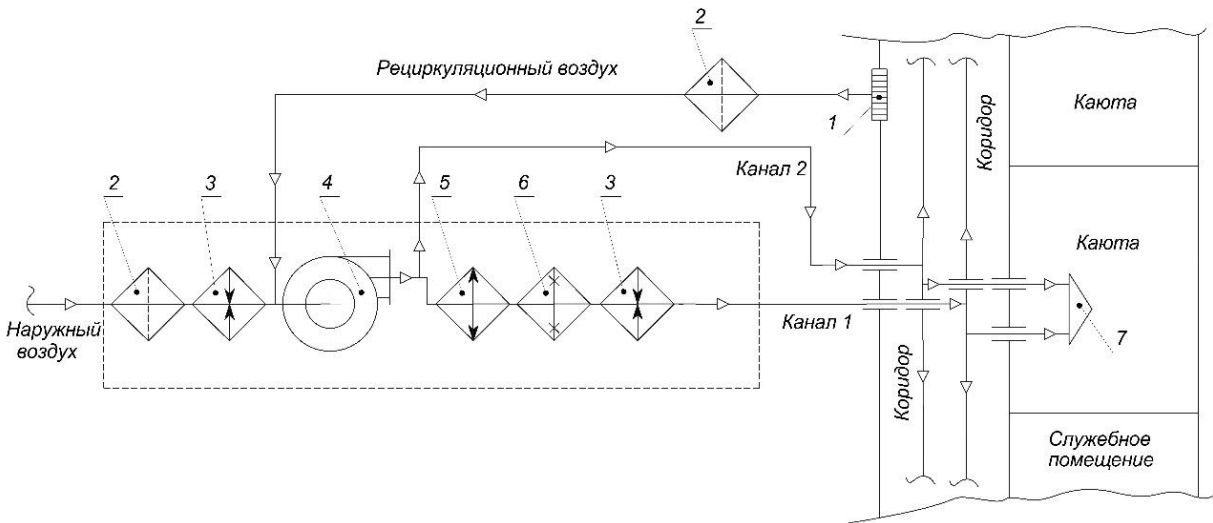


Рис. 2. Схема СКР II:

1–6 как на рис. 1; 7 – каютный воздухоораспределитель

Окончательную конфигурацию рассмотренных выше систем кондиционирования судовых помещений определяем по результату комплексного анализа параметров, представленных в таблице.

Результаты анализа СКР I и СКР II

Характеристика	Прямоточная	СКР I	СКР II
Объемный расход воздуха, м ³ /с			
– наружный	3	1	1
– рециркуляционный	0	2	2
– канал I	-	2	1
– канал II	-	-	1
Нагрузка на воздухоохладитель, кВт	28,78	20,6	16,2
Нагрузка на воздухонагреватели, кВт	51,3	31,4	23,1

Согласно данным комплексного анализа, эксплуатация системы кондиционирования с рециркуляцией (СКР I) характеризуется снижением энергозатрат, обусловленным уменьшением расчетной тепловой нагрузки на элементы теплообменного контура (охладитель и нагреватель) в сравнении с прямоточными схемами. Вместе с тем для СКР I свойственна ограниченная гибкость, выражающаяся в невозможности обеспечения зонального автономного контроля температуры и относительной влажности. Кроме того, наличие дополнительного воздуховода для рециркуляции воздуха сказывается на капитальных затратах при монтаже системы. Как показал оценочный тепловой расчет, нагрузки на воздухонагреватели в прямоточных системах выше на 63,4%, а на охлаждающий теплообменник выше на 39,7%. Кроме того, СКР II обладает повышенной энергетической эффективностью, обеспечиваемой использованием канала 2, и предоставляет возможность независимого формирования заданных параметров микроклимата в каждом помещении в расширенном диапазоне (см. табл.).

В обоих случаях рециркуляционный воздух из судовых помещений подается через фильтр грубой очистки, смешивается с наружным воздухом и, проходя обработку, поступает снова в судовые помещения. В представленных системах СКР I и СКР II установленный воздушный фильтр не обеспечивает необходимый уровень очистки воздуха, поступающего из судовых помещений. Согласно введенным санитарным нормам СП 2.5.3650-20 в судовых системах вентиляции или кондиционирования воздуха допускается использование режимов рециркуляции воздуха в случае отсутствия в помещениях источников выделения токсичных веществ, вредных газов и запахов. При этом рециркулируемый воздух должен подвергаться обеззараживанию, обеспечивающему инактивацию патогенных и потенциально-патогенных биологических агентов, передающихся воздушно-капельным путем с эффективностью не менее 95% [6].

Для реализации необходимого технологического режима очистки рециркуляционного воздуха, соответствия санитарным нормам предлагается в системы СКР I и СКР II на пути подачи воздуха из жилых и служебных судовых помещений установить дополнительно: кассетный фильтр грубой очистки воздуха (ФВКас); НЕРО-фильтр – фильтр высокоэффективной тонкой очистки [7]; карманный угольный фильтр (ФВК-Carb) для адсорбции газообразных загрязнителей и летучих химических соединений. Кроме этого, для обеззараживания воздуха во «влажной» зоне кондиционера, подверженной росту микроорганизмов, предлагается установить ультрафиолетовую лампу (УФ-4м). К «влажной» зоне кондиционера относится зона парового увлажнения/осушения и охлаждения воздуха в зависимости от параметров обрабатываемого воздуха. Ввиду создания дополнительного аэродинамического сопротивления дополнительным оборудованием необходима установка центробежного вентилятора для нагнетания потока воздуха из судовых помещений. Как показал расчет суммарного аэродинамического сопротивления фильтров ФВКас, НЕРО-фильтра, ФВК-Carb, запас давления, создаваемого центробежным вентилятором, например марки S-HP 265/18, составит 24,6%.

На рис. 3 и 4 представлены модернизированные схемы СКР I и СКР II. Как и в первоначальной схеме, воздух проходит все стадии обработки и подается в судовые помещения.

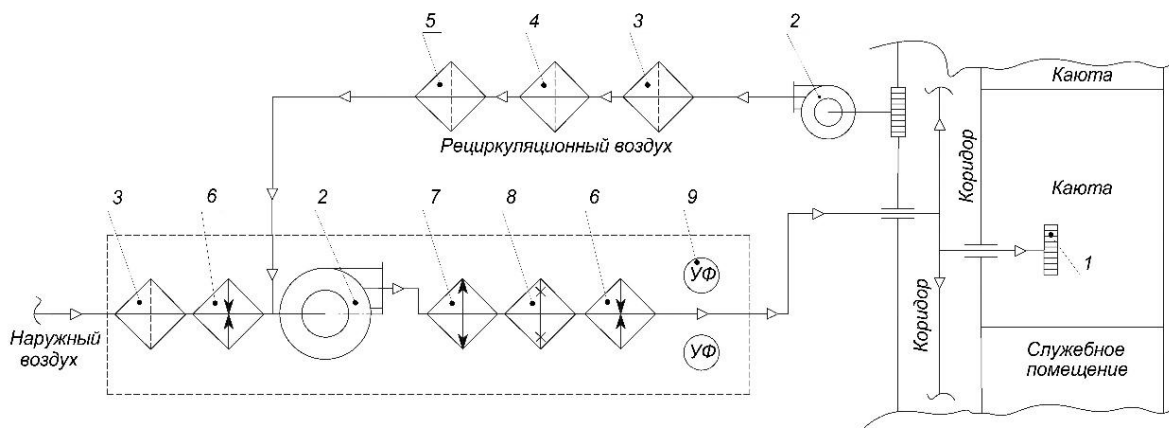


Рис. 3. Принципиальная схема СКР Iм:

- 1 – воздушные жалюзи; 2 – центробежный вентилятор; 3 – кассетный фильтр (ФВКас); 4 – НЕРО-фильтр;
5 – карманный угольный фильтр (ФВК-Carb); 6 – теплообменник нагревающий (паровой);
7 – теплообменник охлаждающий (фреоновый); 8 – увлажнитель (паровой); 9 – УФ-лампа (УФ-4м)

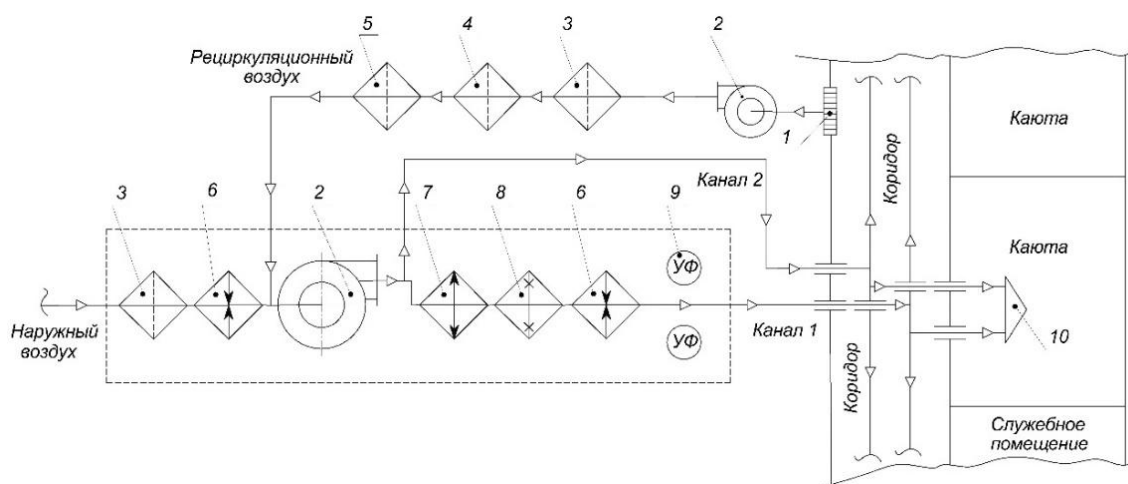


Рис. 4. Принципиальная схема СКР Пм:

- 1 – воздушные жалюзи; 2 – центробежный вентилятор; 3 – кассетный фильтр (ФВКас); 4 – НЕРО-фильтр;
 5 – карманный угольный фильтр (ФВК-Carb); 6 – теплообменник нагревающий (паровой);
 7 – теплообменник охлаждающий (фреоновый); 8 – увлажнитель (паровой); 9 – УФ-лампа (УОВ-4м);
 10 – каютный воздухораспределитель

Проведенный технико-экономический анализ одноканальной и двухканальной централизованных систем кондиционирования воздуха показал преимущества их в сравнении с системами без рециркуляции. Спроектированы системы кондиционирования с обработкой и приведением рециркуляционного воздуха в соответствие с установленными санитарными эпидемиологическими требованиями СП 2.5.3650-20.

Литература

1. Селиверстов В.М. Расчёты судовых систем кондиционирования воздуха. – Л.: Судостроение. – 1971. – 231 с.
2. Захаров Ю.В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильных машин. – Л.: Судостроение. – 1979. – 487 с.
3. Иодис В.А., Сарайкина И.П., Македонский А.А. Анализ судовых систем кондиционирования воздуха // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Пятой Междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2022. – С. 94–98.
4. Иодис В.А., Алтухов А.А., Сарайкина И.П. Обзор централизованных систем комфортного кондиционирования воздуха на судах // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Третьей Междунар. науч.-техн. конф. / Отв. за выпуск О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2021. – С. 87–89.
5. Балыкова Л.И., Иодис В.А., Скороходов П.С. Анализ судовых систем кондиционирования воздуха для транспортного рефрижератора // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы III Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2012. – С. 26–29.
6. СП 2.5.3650-20. Об утверждении санитарных эпидемиологических требований к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры: Свод правил: утвержден и введен в действие Постановлением главного санитарного врача Российской Федерации от 16 октября 2020 года № 30: дата введения 2021-01-01 // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциум «Кодекс»: [Сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566406892?marker=6560Ю> (дата обращения: 17.10.2025).
7. ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010. Национальный стандарт РФ. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха ЕРА, НЕРА и ULPA (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2010 г. № 1145-ст) // Общероссийская общественная организация «Ассоциация инженеров по контролю микрозагрязнений». – Москва: Стандартинформ, 2011. – 12 с.

УДК 539.3/6:629.5.06

А.В. Костенко, А.С. Гладких

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: andr13kost@list.ru; alinagolden01@mail.ru*

ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ВАЛОВ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ

В работе выполнен обзор конструктивных схем судовых валопроводов. Показано влияние поперечных колебаний на надежность и работоспособность валопроводов. Приведены неисправности, возникающие из-за действия на валы валопровода поперечных колебаний. Обоснована актуальность исследований поперечных колебаний валопровода с использованием промежуточных валов.

Ключевые слова: валопровод судовой, схема конструктивная, колебания поперечные, вал промежуточный, неисправности валопровода.

A.V. Kostenko, A.S. Gladkikh

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: andr13kost@list.ru; alinagolden01@mail.ru*

INTERMEDIATE SHAFTS TRANSVERSE VIBRATIONS OF MARINE SHAFT LINES

A review of marine propeller shaft design concepts is given. The influence of transverse vibrations on the reliability and performance of propeller shafts is demonstrated. Faults arising from transverse vibrations acting on propeller shafts are described. The relevance of studying transverse vibrations in propeller shafts using intermediate shafts is substantiated.

Key words: marine propeller, shaft design, transverse vibrations, intermediate shaft, propeller shaft faults.

Судовой валопровод, являющийся одним из основных элементов судовой энергетической установки (СЭУ), существенно влияет на надежность, долговечность и безопасность судна.

Валопровод – конструктивный комплекс, соединяющий двигатель или главную судовую передачу и служащий для передачи крутящего момента от двигателя к движителю [1].

Валопровод отвечает за передачу крутящего момента двигателя гребному винту и развиваемого винтом упора корпусу судна, поэтому подвергается воздействию различных нагрузок, которые в совокупности определяют сложные условия работы валов валопровода. К таким нагрузкам относятся нагрузки кручения, нагрузки изгибные, вибрация, а также колебания – крутильные, продольные, поперечные и осевые.

Цель статьи – выполнить анализ конструктивных особенностей судовых валопроводов, обосновать актуальность исследования поперечных колебаний промежуточных валов валопроводов.

Валопроводы состоят из гребных, промежуточных и других валов с деталями их соединений и подшипниками, дейдвудных устройств с подшипниками, уплотнениями, системами смазки и охлаждения. Кроме этого, в состав валопровода могут входить специальные устройства, например, защитные кожухи, тормозные устройства и др.

Правила Российского морского регистра судоходства не допускают возникновения поперечных колебаний на всех режимах работы валопровода еще на этапе проектирования [2].

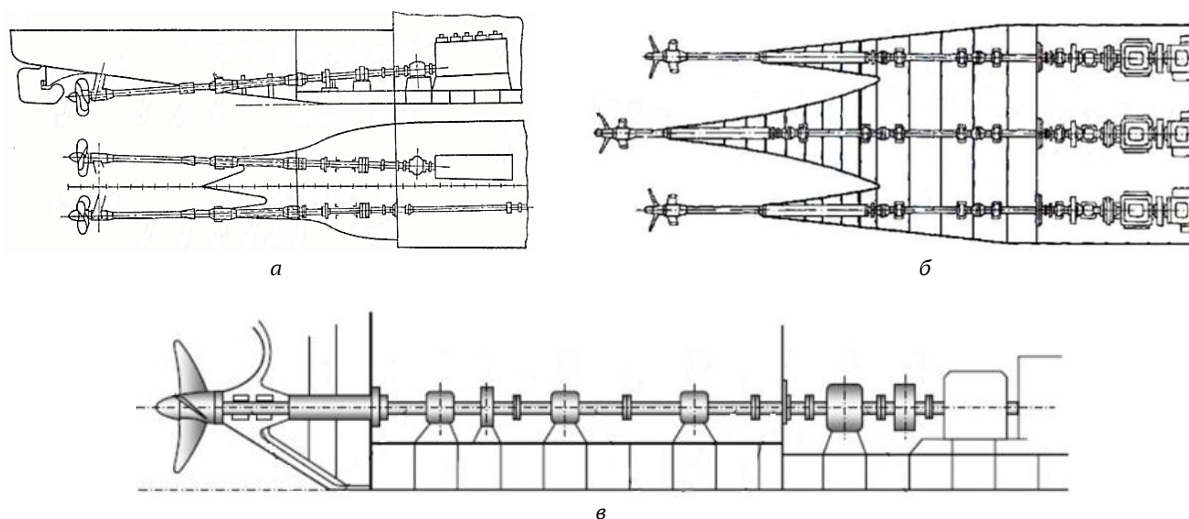
Однако при эксплуатации поперечные колебания могут возникать в результате [2–4] небаланса из-за погрешностей механической обработки, неравномерности материала, нарушения баланса при установке оборудования или при демонтаже деталей, неравномерного поля скоростей

потока в районе винта, конструктивных особенностей дейдвудного устройства (величина зазора в дейдвудном подшипнике). При этом следует отметить, что особенно опасной для технического состояния валопровода будет иметь критическая частота вращения, вызывающая биение валов и разрушение подшипниковых опор.

Таким образом, проблема исследования поперечных колебаний судовых валопроводов является актуальной научной задачей, имеющей важное практическое значение, так как связана с обеспечением надежности и безопасности эксплуатации судов.

Промежуточные валы соединяют между собой гребной (дейдвудный) вал и упорный вал. Количество валов зависит от протяженности и от диаметра линии вала судна. Располагаются промежуточные валы на опорные подшипники, количество и конструкция которых также зависят от конструктивных особенностей валопровода. Соединение промежуточных валов между собой и другими валами (гребным, упорным) осуществляется фланцами.

На рисунке представлены конструктивные схемы валопроводов [5-7].



Конструктивные схемы валопроводов:
а - двухвальной; б - трехвальной; в - одновальной

Как видно из рисунка, линии вала судна делятся на одновальные и многовальные, имеющие две и более линий вала. Многовальные передачи используются в следующих случаях [6]: невозможность передачи слишком больших мощностей на один движитель; обеспечение требуемой маневренности и управляемости судов; повышение надежности СЭУ за счет разделения мощности на несколько потоков. Следует отметить, что передача большой мощности через одну линию вала приводит к увеличению диаметра валов, массы, а также к технологическим сложностям в их изготовлении.

Одновальная схема валопровода (рис., в) отличается надежностью, эффективной и экономичной конструкцией. Недостаток этой схемы заключается в ухудшенной маневренности и живучести, что, однако, можно компенсировать мощными рулями и бустерными устройствами (подруливающими устройствами) [6].

Представленная на рис., а схема двухвального валопровода имеет улучшенные, по сравнению с одновальной схемой, управляемость и безопасность, что, конечно же, достигается увеличением стоимости и конструктивной сложности. Применение такой схемы определяется требованиями к судну [5].

Трехвальная схема валопровода (рис., б) обладает наилучшими показателями мощности и живучести, но и является самой сложной и дорогостоящей [7].

Поскольку промежуточные валы являются неотъемлемой частью валопровода, то при эксплуатации они также находятся под действием сложных динамических условий, выражающихся в действии постоянных, динамических, знакопеременных и случайных нагрузок.

В результате проведенного анализа существующих конструктивных схем валопроводов было выявлено, что промежуточные валы являются относительно легкодоступными для диагности-

ки или мониторинга, передают и воспринимают все виды нагрузок, действующих в валопроводе, как со стороны двигателя, так и со стороны гребного винта.

Учитывая серьезное влияние изгибных или поперечных колебаний на работу и надежность валопровода [8, 9], а также то, что согласно документу расчет судового валопровода, среди прочего, должен содержать расчет изгибных колебаний валопровода и усталостной прочности гребного вала, можно сделать вывод о необходимости исследований изгибных колебаний промежуточных валов. Это позволит не только идентифицировать неисправности валовой линии, но и отслеживать техническое состояние всего валопровода, поскольку, как было сказано выше, промежуточные валы являются связующим звеном между гребным валом и двигателем.

Поперечные колебания вызывают прогиб валов при эксплуатации валопровода и могут быть причиной следующих неисправностей:

1) повреждений подшипниковых узлов (главного, упорного, промежуточного, дейдвудного). При этом повреждается антифрикционный слой (баббит), что выражается в повышенном износе слоя, выкрашивания материала из-за усталостного разрушения. Увеличивается сила трения, что ведет к перегреву узла и расплавлению слоя баббита, а это уже чревато заклиниванием вала. Разрушается масляный клин, что опять же увеличивает трение и все последующие связанные с этим последствия;

2) усталостных разрушений вала. В зонах концентраций напряжений (галтели, шпоночные канавки, в районе сварных швов и т. д.) возникают трещины, которые увеличиваются и разрастаются, в связи с чем уменьшается прочность вала, что, естественно, может привести к разрушению вала, например, перелому;

3) нарушения целостности уплотнений – манжет, сальников, подвижных колец, в том числе дейдвудного уплотнения. Последствия этого – проникновение забортной воды, нарушение смазки, увеличение интенсивности износа, коррозия;

4) повреждения гребного винта и его соединения с валом, как следствие – нарушения передачи крутящего момента;

5) вибрации корпуса из-за сильных изгибных колебаний.

Особенностью повреждений в результате действия поперечных колебаний является то, что они носят накапливающийся и усталостный характер, а это означает, что они не возникают мгновенно, при этом являются очень серьезными, вызывая потерю хода, а затем дорогостоящий и трудоемкий ремонт.

Валопровод является важной частью судна, подвергающейся среди прочего негативным воздействиям изгибных колебаний. Поэтому исследование поперечных колебаний валопровода – актуальная научно-практическая задача, решение которой позволит повысить надежность и безопасность эксплуатации судна, в том числе и за счет создания системы мониторинга, которая бы в режиме реального времени отслеживала состояние элементов валопровода, используя для этого промежуточные валы, на которых будут размещены датчики в наиболее информативных местах.

Литература

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII. Механические установки. НД № 2-020101-174. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2024. – 108 с.
2. Экспериментальное исследование поперечных колебаний валопровода судна проекта ВКМ-3 / Г.А. Кушнер, В.А. Мамонтов, А.А. Халыкин, В.В. Шахов // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 1-1(39). – С. 77–80.
3. Судновий механік: Довідник / Авт. кол.: За ред. А.А. Фока, д.т.н. – У 3-х т. – Т. 1. – Одеса: Фенікс, 2008. – 1036 с. (рос. мовою).
4. Пожидаева Л.А., Солодилов И.А., Костенко А.В. К вопросу о создании интеллектуальной системы контроля динамических характеристик судового валопровода // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы XIV Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. (21–22 марта 2023 г.) [Электронный ресурс]. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2023. – С. 83–86.
5. Судовые энергетические установки / Г.А. Артемов, В.П. Волошин, Ю.В. Захаров, А.Я. Шквар. – Л.: Судостроение, 1987. – 480 с.

6. *Болдырев О.Н.* Судовые энергетические установки. Часть III. Комбинированные и ядерные энергетические установки: Учебное пособие / О.Н. Болдырев. – Северодвинск: Севмашвтуз, 2007. – 178 с.

7. *Конаков Г.А., Васильев Б.В.* Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота: Учебник для вузов водн. трансп. – М.: Транспорт, 1980. – 423 с.

8. Об одном подходе к расчету поперечных колебаний судового валопровода с учетом износа дейдвудного подшипника / *А.А. Халявкин, С.А. Макеев, А.И. Мащенко и др.* – Морской вестник. – 2022. – № 1(81). – С. 62–65.

9. Методика расчета поперечных колебаний гребного вала с учетом вращения / *Г.А. Кушнер, В.А. Мамонтов, А.А. Халявкин, В.В. Шахов* // Вестник ВГАВТ. – 2016. – Вып. 49. – С. 122–130.

УДК 664.8.047

А.П. Лебедева¹, Е.А. Степанова²

¹ *Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова,
Санкт-Петербург, 198035
e-mail: otd_o@gumrf.ru;*

² *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: len_sta@rambler.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ПИЩЕВЫХ СОРБЕНТОВ

Статья посвящена анализу результатов исследования микропоровой структуры ряда пищевых и кормовых материалов как потенциальных сорбентов. Критериями предварительного отбора материалов были: дисперсность, возможность повторного использования, низкая стоимость и доступность, возможность последующего отделения от объекта сушки.

Ключевые слова: контактно-сорбционная сушка, сорбенты, микропоровая структура, радиусы и удельная поверхность капилляров.

A.P. Lebedeva¹, E.A. Stepanova²

¹ *Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
Saint Petersburg, 198035
e-mail: otd_o@gumrf.ru;*

² *Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: len_sta@rambler.ru*

INVESTIGATION OF FOOD SORBENTS MICROPOROUS STRUCTURE

The study results of the microporous structure of a number of food and feed materials as potential sorbents are analyzed. The criteria for the preliminary selection of materials were dispersion, the possibility of reuse, low cost and availability, the possibility of subsequent separation from the drying facility.

Key words: contact sorption drying, sorbents, micropore structure, radii and specific surface area of capillaries.

Определяющее значение в механизме переноса влаги из материала в сорбент при контактно-сорбционном обезвоживании, на наш взгляд, имеют структурные характеристики сорбента (диаметры капилляров и пористость).

При изучении структурных характеристик нами был использован структурно-сорбционный метод расчета распределения микропор.

При использовании этого метода был принят ряд допущений:

- расчет действителен только для области капиллярной конденсации;
- свойства воды принимаются такими же, как для микроскопической объемной фазы;
- форма пор принимается цилиндрической;
- энергетическое поле поверхности пор сорбента однородно;
- допускается применение уравнения Кельвина.

Для расчета распределения пор использовалась экспериментально полученная десорбционная ветвь изотерм исследуемых материалов.

По уравнению Кельвина, для каждого значения отношения давления на поверхности материала и давления пара насыщения $\left(\frac{P}{P_{\text{H}}}\right)$, можно определить радиус кривизны сферического мениска жидкости в поре [1]:

$$r_k = \frac{2\sigma \cdot V_0}{RT \cdot \ln \frac{P}{P_n}}$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости ($\sigma = f(T)$, Дж/м²;
 V_0 – молекулярный объем воды $V_0 = 18 \cdot 10^{-6}$, м³/моль.

Радиус поры (эквивалентный модельному сорбенту) рассчитывается как:

$$r = r_k + \ell,$$

где ℓ – среднестатистическая толщина адсорбционного слоя, соответствующая $\left(\frac{P}{P_n}\right)$ и вычисляемая по величине десорбции (a) и удельной поверхности ($S_{уд}$):

$$\ell = \frac{a \cdot V_0}{S_{уд}}$$

Результатом n -й ступени десорбции, соответствующей уменьшению относительного давления пара на $\Delta\left(\frac{P}{P_n}\right)$, является десорбция некоторого количества пара Δa или объема жидкости

$$\Delta V_{жк} = \Delta a \cdot V_0.$$

В результате испарения капиллярно-конденсированной влаги уменьшается толщина адсорбционной пленки на поверхности обезвоженных пор.

Формула для изменения объема пор, обезвоженных на n -м этапе десорбции:

$$\Delta V_n = \left(\Delta V_{нжк} - \Delta \ell_n \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \frac{2\Delta V_{iжк}}{r_{ki}} \right) \cdot \left(\frac{r}{r_{kn}} \right)^2.$$

Уравнение распределения дифференциального объема пор по радиусам сорбента:

$$\frac{\Delta V}{\Delta r} = \varphi(r).$$

И уравнение распределения дифференциальной поверхности пор:

$$\frac{\Delta S}{\Delta r} = \frac{2}{r} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta r} = \frac{2}{r} \varphi(r).$$

По приведенной методике на основании экспериментальных данных была рассчитана микропоровая структура исследуемых материалов. Результаты исследования приведены в таблице.

Характеристики микропоровой структуры пищевых сорбентов

№ п/п	Материал	Характеристики микропоровой структуры			
		Температура T , К	Удельная поверхность $S_{уд}$, м ² /г	Радиус поры $r \cdot 10^{-10}$, м	тах кривой дифференциального распределения объема приходится на поры с радиусом $r \cdot 10^{-10}$, м
1.	Отруби пшеничные	318	146,61	10,2 ÷ 56,0	15,54
2.	Дробленое зерно пшеницы	318	169,28	11,0 ÷ 51,0	12,55
3.	Al ₂ O ₃	318	118,48	10,5 ÷ 54,0	15,52
4.	Манная крупа	318	203,68	10,0 ÷ 49,0	11,50
5.	Лузга подсолнечная	293	155,58	11,3 ÷ 74,0	15,50
6.	Картофельная мука	293	261,21	11,7 ÷ 55,0	19,60

* При изучении характеристик и свойств пищевых сорбентов была исследована «активированная» картофельная мука, полученная по методу, предложенному Э.Г. Тутовой с соавторами [2]. Данный продукт отличается от картофельной муки [3] тем, что, с целью улучшения его качества путем повышения влагопоглощательной способности, он дополнительно содержит соль, причем компоненты взяты в следующем соотношении масс. %: картофельная мука – 95÷95 %; соль – 5÷10 %

Нами также была поставлена задача исследовать влияние температуры на микропоровую структуру сорбента. Рассмотрим это на примере изменения структурных характеристик дробленого зерна пшеницы в зависимости от температуры (рис. 1).

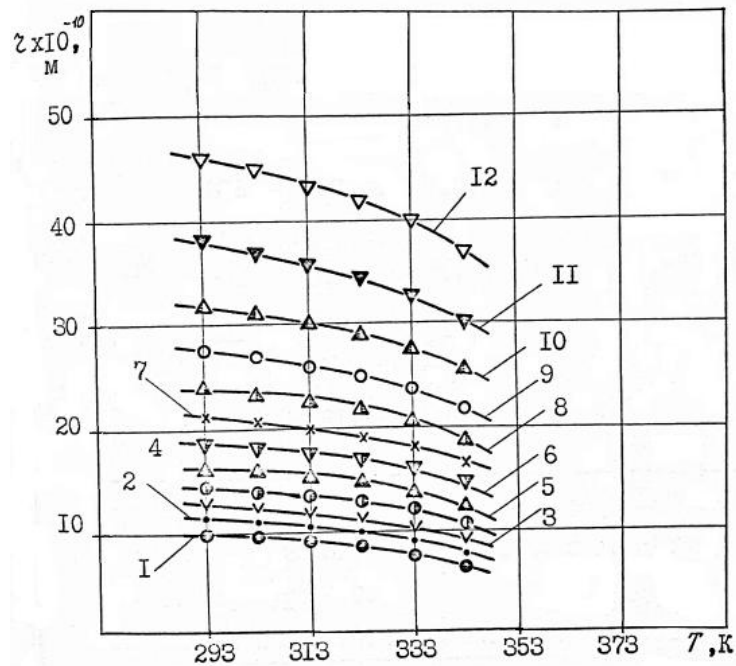


Рис. 1. Зависимость радиуса капилляров в дробленном зерне пшеницы от температуры при различной относительной влажности воздуха: 1 - 0,2%; 2 - 0,25%; 3 - 0,3%; 4 - 0,35%; 5 - 0,4%; 6 - 0,45%; 7 - 0,5%; 8 - 0,55%; 9 - 0,6%; 10 - 0,65%; 11 - 0,7%; 12 - 0,75%

При обработке экспериментальных данных методом наименьших квадратов [4] получили зависимость

$$r = 23,5148 \cdot \exp(-0,0047t), \text{ м}^{-10},$$

где t – температура, °С

Коэффициент нелинейной множественной корреляции [1]:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1) \sum_1^N (Y_3 - Y_T)^2}{(N-K-1) \sum_1^N (Y_3 - Y_{cp})^2}} = 0,9661$$

и его значимость для пятипроцентного уровня, достаточного в химических исследованиях [5]:

$$t_R = \frac{R \cdot \sqrt{N-K-1}}{1-R^2} = 28,99 > 2,$$

где N – число описываемых точек;

K – число действующих факторов;

Y_3 – экспериментальный результат;

Y_T – теоретический (расчетный) результат;

Y_{cp} – среднее экспериментальное значение.

Радиус капилляров является также функцией от относительной влажности (рис. 2), описываемой уравнением, полученным на основании математической обработки экспериментальных данных:

$$r = 3,6907 \cdot \exp(0,0301\varphi), \text{ м}^{-10},$$

где φ – относительная влажность воздуха, %.

Коэффициент нелинейной множественной корреляции $R = 0,9981$ и его значимость $t_R = 808,29 > 2$.

Используя метод М.М. Протождяконова [6] для описания статических многофакторных зависимостей, получили обобщенную формулу:

$$r = 5,2758 \cdot \exp(0,0301\varphi - 0,0047t), \text{ м}^{-10},$$

где φ – относительная влажность воздуха, %;

t – температура, °С.

Коэффициент нелинейной множественной корреляции $R = 0,945$ и его значимость $t_R = 17,68 > 2$. Это указывает на адекватность обобщенного уравнения.

Ошибка уравнения вычислялась по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (Y_s - Y_t)^2}{N - K - 1}}.$$

Ошибка уравнения составила 0,547 абс. %.

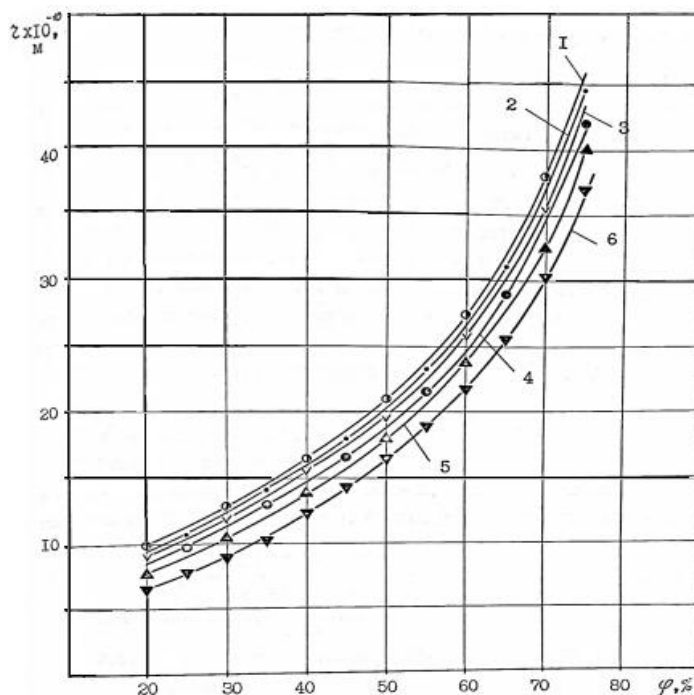


Рис. 2. Зависимость радиуса капилляров в дробленом зерне пшеницы от относительной влажности при различных температурах: 1 – 293 К; 2 – 303 К; 3 – 313 К; 4 – 323 К; 5 – 333 К; 6 – 343 К

На основании сравнительного анализа структуры исследуемых пищевых сорбентов можно выделить материалы, обладающие наиболее развитой поровой структурой. Это – дробленое зерно пшеницы и картофельная мука. Оба материала являются пищевыми продуктами и могут использоваться в качестве сорбентов для контактно-сорбционной сушки в пищевой промышленности.

Литература

1. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массообменные характеристики пищевых продуктов. – М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1982. – 279 с.
2. А. с. 1144675 (СССР). Сорбент-наполнитель для пищевых и кормовых продуктов / Авт. изобрет. Э.Г. Тугова и др. – Опубл. в Б.И., 1985, № 10.

3. ТУ 10-04-08-88. 1985, № 10. Мука картофельная пищевая; Введ. С 21.03.88 г. до 21.03.93 г. – 10 с. – Группа Н43.
4. *Дьяконов В.П.* Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. – 2-е изд., испр. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 224 с.
5. *Мальшев В.П.* Математическое планирование металлургического и химического эксперимента. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. – 37 с.
6. *Протодьяконов М.М., Тедер Р.И.* Методика рационального планирования экспериментов. – М.: Наука, 1970. – 76 с.

УДК 629.5.048.3

Н.А. Разеев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: raseev_na@mail.ru*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА МОРСКИХ СУДАХ

В настоящей статье представлен взгляд на комплексный метод проектирования и адаптации системы кондиционирования воздуха (СКВ), изначально разработанной для многоэтажных зданий, в условиях морских судов пребывающих в зонах с тропическим и умеренным климатом. Рассматриваются следующие вопросы: расчет тепловой нагрузки; выбор оборудования; аэродинамический расчет и специфика электромонтажа в условиях морского судна.

Ключевые слова: судовая система кондиционирования, проектирование, фанкойл.

N.A. Razeev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: raseev_na@mail.ru*

DESIGNING OF AIR CONDITIONING SYSTEMS ON SHIPS

A comprehensive method for designing and adapting air conditioning system (ACS) for multi-storey buildings to the conditions of marine vessels operating in tropical and temperate climates is presented. The following issues concerning heat load calculation, equipment selection, aerodynamic calculations and electrical installation specifics on a marine vessel are considered.

Key words: marine air conditioning system, design, fancoil.

Эффективная работа судовых систем кондиционирования воздуха является критически важным фактором обеспечения комфортных условий на современных морских судах. Проектирование и адаптация СКВ для морского судна осложняется ограниченностью пространства судовых помещений, повышенными требованиями к надежности ввиду длительных автономных морских переходов, необходимостью работы СКВ в условиях постоянной вибрации, агрессивного воздействия морской среды. Предлагаемая методика позволяет системно подойти к решению этих задач, обеспечивая оптимальные технико-экономические показатели [1].

В настоящей работе в качестве прототипа для проектирования судовой системы кондиционирования воздуха взята СКВ с чиллером и фэнкойлами, ранее разработанная для жилого здания – гостиницы, описанная в работе [2]. Применение СКВ с чиллером и фэнкойлами дает возможность снизить общее потребление электроэнергии системой обеспечения микроклимата. Одной из принципиальных особенностей таких систем является подача в помещение минимально необходимого наружного воздуха и ассимилирование избытков местными агрегатами-фэнкойлами [2].

Критерии выбора конфигурации СКВ осуществляется на основе анализа целого ряда параметров. Эти параметры можно структурировать по ряду признаков: компоновка внутренних судовых помещений; площадь, высота судовых помещений, расположение переборок; размещение воздухопроводов СКВ, систему трубопроводов циркуляции хладагента и хладоносителя, прокладка электрооборудования; эргономика элементов СКВ, распределение органов управления СКВ, учет антропометрических показателей; размер капитальных вложений, эксплуатационные расходы и т. д.

Расчет производительности и тепловой нагрузки СКВ необходимо начать с определения площади, в котором необходимо осуществлять кондиционирование воздуха. Для унификации расчетов исходим из того, что высота потолков в каютах составляет 2 м со средним количеством мебели. Площадь каждой каюты перемножаем на коэффициент тепловой нагрузки, приведенный в табл. 1 для каждой климатической зоны (умеренный климат характеризуется средней температурой воздуха 35°C и воды 29°C при умеренной влажности; тропический климат – в среднем t воздуха 41°C и t воды 35°C при высокой влажности), чтобы найти требуемую производительность кондиционера.

Таблица 1

Климатическая зона	Коэффициент тепловой нагрузки, Вт/м ²
Умеренный климат	26,37
Тропический климат	34,18

Для расчета применяем следующую формулу:

$$Q = \sum (S_i \cdot K_i) + Q_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где Q – суммарная тепловая нагрузка, Вт;

S_i – площадь помещения, м²;

K_i – коэффициент тепловой нагрузки, Вт/м²;

$Q_{\text{доп}}$ – дополнительные теплопритоки [3].

Затем осуществляем комбинацию различных типов холодильных агрегатов и способов размещения технологического оборудования. Компоновку холодильных агрегатов автономного кондиционера будем осуществляться из: центральной системы с чиллером; автономным кондиционером сплит-типа; фанкойлом с выносным компрессорно-конденсаторным блоком. При определении способа размещения необходимо учитывать следующие условия: обязательное создание сервисных зазоров не менее 0,6 м; защита оборудования от непосредственного воздействия морской среды; установка демпферов для поглощения виброизоляции; обеспечение доступа для технического обслуживания.

Следующим этапом проектирования будет расчет потребления забортной воды для отвода теплоты конденсации. Для этого применяется централизованная система охлаждения с подачей забортной воды. При этом важно учитывать минимальные диаметр впускного патрубка в днище корпуса судна. В расчетах мы применяем формулу:

$$G = \frac{Q}{(\rho \cdot c \cdot \Delta t)}, \quad (2)$$

где G – массовый расход воды, кг/с;

Q – тепловая нагрузка, Вт;

ρ – плотность воды, 1 000 кг/м³;

c – удельная теплоемкость, 4 200 Дж/(кг · К);

Δt – перепад температур, 5–7 К.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Холодопроизводительность, Вт	Расход воды, м ³ /ч	Диаметр патрубка, мм
1,5–3,5	0,26–0,60	13
4,7–7,0	0,81–1,20	19
8,8–14,1	1,51–2,42	25

Аэродинамический расчет системы воздухораспределения проводится с учетом диаметра воздуховодов и площади сечения решеток. Данные берутся по табл. 3 на основании производительности фанкойла.

Производительность, м ³ /ч	Диаметр воздуховода, мм	Скорость воздуха м/с
200–400	100–150	2,0–3,0
400–800	150–200	3,0–3,5
800–1 200	200–250	3,5–4,0

Электроснабжение и автоматизация завершают нашу методику проектирования СКВ. Рабочие и пусковые токи судовых систем кондиционирования, как правило, являются главным источником электронагрузки на судне. В этих условиях чрезвычайно важно, чтобы система электроснабжения судна обладала достаточной мощностью для полноценного функционирования всех судовых систем, включая СКВ. Необходимо обеспечить напряжение 230/400 В при частоте 50/60 Гц. Необходимо обеспечить степень защиты электрооборудования от пыли и влаги на уровне стандарта защиты не менее IP 56.

Автоматизация управления СКВ должна включать микропроцессорные контроллеры, частотное регулирование, а также дистанционный мониторинг функционирования СКВ с выводом информации на ЦПУ.

Представленная методика проектирования судовой СКВ демонстрирует эффективный подход к адаптации береговой технологии к жестким условиям морского судна. Метод основан на поэтапном расчете тепловых нагрузок с учетом климатических зон, комбинировании различных агрегатов, таких как чиллер, сплит-системы, фанкойлы, аэродинамическом расчете и спецификации элементов электроснабжения и автоматизации, расчетах по подбору оборудования, определению расхода забортной воды и параметров воздухораспределения.

Таким образом, предложенная методика представляется целостным инструментом для проектирования надежной, экономичной судовой СКВ, пригодной к различным климатическим условиям, отвечающей современным требованиям комфорта и эксплуатационной эффективности, а также действующих санитарных норм [4].

Литература

1. Селиверстов В.М. Расчёты судовых систем кондиционирования воздуха. – Л.: Судостроение, 1971. – 231с.
2. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. – М.: Евроклимат, 2003. – 400 с.
3. ГОСТ Р ЕН 13779–2007 Вентиляция в нежилых зданиях технические требования к системам вентиляции и кондиционирования: Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 616-ст: введен впервые: Дата введения 2008-10-01 / подготовлен Общероссийской общественной организацией «Ассоциация инженеров по контролю микрозагрязнений» (АСИНКОМ). – М.: Стандартиформ, 2008. – 44 с.
4. СП 2.5.3650-20. Об утверждении санитарных эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры: Свод правил: утвержден и введен в действие Постановлением главного санитарного врача Российской Федерации от 16 октября 2020 года № 30: дата введения 2021-01-01 // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциум «Кодекс»: Сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566406892?marker=6560Ю> (дата обращения: 07.11.2025).

УДК 624.042.8

С.А. Фоменко

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры –
филиал Национального исследовательского
Московского государственного строительного университета,
Макеевка, 286123
e-mail: s.a.fomenko@donnasa.ru*

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ГАЛЕРЕИ

В 2020 г. были выполнены замеры параметров вибраций нескольких галерей фабрики ОАО «ЦОФ «Комсомольская» во время работы технологического оборудования. Полученные данные испытаний выявили, что в галерее № 9 амплитуды колебаний конструкций первого пролета значительно выше по сравнению с амплитудами, зарегистрированными во втором пролете той же галереи и во всех остальных галереях в целом. На основании этого возникло предположение, что величина амплитуды может зависеть от изменения жесткости данного пролета, и, вероятно, колебания протекают в режиме, близком к резонансному.

С точки зрения конструкции, галерея № 9 представляет собой двухпролетное сооружение, которое соединяет здание породных бункеров с перегрузочной станцией. Промежуточная плоская опора разделяет галерею на два пролета. Пролетные конструкции галереи состоят из раскосных ферм с параллельными поясами, связанных между собой горизонтальными связями и прогонами.

Был изучен вопрос о зависимости частоты собственных колебаний пролетных конструкций галерей от жесткости их элементов. Результаты динамических исследований галерей могут применяться для контроля целостности сооружения.

Ключевые слова: конвейерная галерея, динамические испытания, частота и амплитуда колебаний, стержневые элементы.

S.A. Fomenko

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture –
branch of the National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Makeyevka, 286123
e-mail: s.a.fomenko@donnasa.ru*

DYNAMIC TESTINGS OF GALLERY SPANS

The vibration parameters of several galleries of JSC “CPP Komsomolskaya” during the operation of technological equipment were measured in 2020. The test data revealed that the vibration amplitudes of the structures of the first span in gallery No. 9 are significantly higher compared to the amplitudes recorded in the second span of the same gallery and in all other galleries as a whole. Based on this fact, it was supposed that the magnitude of the amplitude may depend on changes in the stiffness of the span. It is obvious that the oscillations occur in a mode close to resonance.

The construction of gallery No. 9 is a two-span structure that connects the building of the rock bunkers with the transshipment station. An intermediate flat support divides the gallery into two flights. The span structures of the gallery consist of diagonal trusses with parallel belts interconnected by horizontal ties and girders.

The question of the dependence of the frequency of natural vibrations of gallery spans on the rigidity of their elements was studied. The results of dynamic studies of galleries can be used to monitor the integrity of the structure.

Key words: conveyor gallery, dynamic tests, frequency and amplitude of vibrations, rod elements.

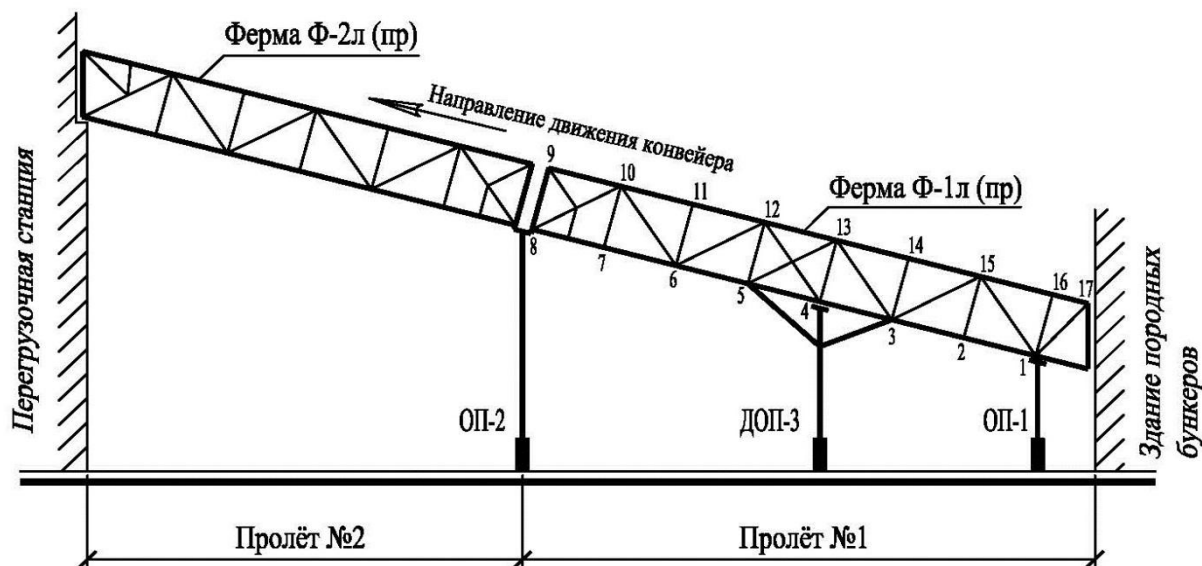
Конструкции конвейерных галерей, помимо статических нагрузок, возникающих от строительных элементов, самого конвейера, груза на ленте и иных факторов, также подвергаются значительным динамическим воздействиям, обусловленным перемещением подвижных частей оборудования. Движение ветвей конвейерной ленты и помещенного груза, а также вращение роликов приводят к колебаниям пролетных конструкций в вертикальной плоскости [1]. Извест-

но, что динамические нагрузки вызывают появление дополнительных напряжений в элементах пролетных сооружений, особенно при их резонансном возбуждении [2].

Недавно были проведены замеры параметров колебаний нескольких галерей предприятия в рабочих условиях технологического оборудования. Показатели испытаний выявили, что амплитуды колебаний конструкции первого пролета галереи № 9 значительно превосходят показатели, зарегистрированные во втором пролете той же галереи и в других галереях в целом. Отсюда возникло предположение, что изменение жесткости первого пролета может влиять на величину амплитуд колебаний, и возможно, эти колебания происходят в условиях, приближенных к резонансному режиму.

С динамической точки зрения форма собственных колебаний является упругой формой равновесия между инерционными и упругими силами конструкций пролетных элементов, и, следовательно, жесткость конструкции в определенной степени определяется периодом ее собственных колебаний [3]. В связи с этим возникла необходимость определить собственные частоты пролетных элементов галереи, возбуждаемых ударными нагрузками.

С конструктивной точки зрения галерея № 9 представляет собой сооружение с двумя пролетами, соединяющее здание породных бункеров с перегрузочной станцией. Промежуточная плоская опора делит галерею на два пролета (рисунок). Пролетные конструкции галереи включают раскосные фермы с параллельными поясами, стабилизируемые горизонтальными связями и прогонами.



Общий вид галереи

Перекрытие и покрытие галереи выполнены из сборных железобетонных плит. На перекрытии размещены три ленточных конвейера с шириной лент 1 000 мм, 1 200 мм и 1 200 мм, которые выступают в качестве основных источников многократно повторяющейся нагрузки на элементы конструкций галереи.

Данные, полученные при регистрации колебаний и последующей обработке осциллограмм с применением методов математической статистики, представлены в таблице. Приведены среднеквадратические значения амплитуд и соответствующие им частоты.

Параметры собственных и вынужденных колебаний пролетных строений галереи № 9

№ п/п	Характер колебаний	Пролет № 1		Пролет № 2	
		f , Гц	A , мм	f , Гц	A , мм
1	Вынужденные колебания при работе конвейеров	4,8	0,81	4,9	0,23
2	Собственные частоты до усиления галереи	4,6	-	7,8	-
3	Собственные частоты после усиления галереи	8,2	-	7,8	-
4	Вынужденные колебания при работе конвейеров после усиления конструкций	4,8	0,18	4,9	0,21

Сведения из таблицы демонстрируют, что частоты собственных колебаний и амплитуды вынужденных колебаний конструкций первого и второго пролетов существенно различаются. Кроме того, колебания первого пролета происходят в режиме, приближенном к резонансу. Это позволяет утверждать, что динамическая жесткость конструкций пролета № 1 значительно ниже динамической жесткости конструкций пролета № 2, находящейся в относительно стабильном состоянии.

Исходя из этих результатов, руководству предприятия было рекомендовано провести тщательное обследование несущих конструкций галереи № 9.

Спустя короткое время элементы правой фермы первого пролета галереи № 9 подверглись неожиданной значительной деформации, в результате чего ферма прогнулась в узле № 3 (см. рисунок) примерно на 700 мм. Для предотвращения дальнейших просядок ферм был срочно запланирован монтаж временных опор под узлами 2, 3 и 4.

Детальный осмотр выявил, что раскос 15-3 оторвался от косынки нижнего узла. При этом сварной шов в данном месте не был обнаружен, а до момента отрыва от нижнего пояса фермы раскос крепился только одним монтажным болтом. Болт разрушился вследствие многократного воздействия циклических нагрузок при эксплуатации конвейеров. В результате данного разрушения и коррозионного износа стойка 15-2 не выдержала дополнительной нагрузки и также оборвалась в узле 2, после чего конструкция фермы стала геометрически подвижной системой, жесткость узлов существенно снизилась и оказалась недостаточной для восприятия нагрузок, что вызвало возникновение изгибающих моментов и деформацию элементов верхнего и нижнего поясов.

Для дальнейшей нормальной эксплуатации галереи № 9 было принято решение поднять с помощью домкратов деформированные элементы нижнего пояса до проектного положения и приварить к ним оторванные раскос и стойку. После восстановления проектного положения фермы первого пролета между узлами 3 и 5 была установлена постоянная дополнительная опора.

После завершения работ по восстановлению и усилению конструкций галереи были проведены повторные измерения параметров колебаний пролетных элементов. Результаты измерений (см. таблицу) показали, что собственная частота первого пролета возросла (соответственно, увеличилась и жесткость конструкции) и стала выше, чем у второго пролета, что объясняется также монтажом дополнительной опоры.

Выводы

1. Проведены измерения параметров колебаний нескольких галерей фабрики при работе технологического оборудования, а также детальное обследование несущих конструкций галереи № 9.

2. Проведены восстановительные работы несущих конструкций фермы первого пролета и установлена постоянная дополнительная опора между узлами 3-5.

3. Результаты динамических испытаний пролетных конструкций галереи дают возможность осуществлять текущий контроль состояния целостности конструктивной системы сооружения, а в определенной степени – и прогнозировать возможные аварийные ситуации.

Литература

1. Пособие по проектированию конвейерных галерей (к СНиП 2.09.03-85) / ГПИ Ленпроект-стальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 111 с.

2. Мониторинг моста через р. Волга на 176 км автодороги М-10 «Россия» с контролем действующей на него подвижной нагрузки / О.В. Крутиков, Д.И. Рыжов, Ю.С. Дабижва, Р.А. Белов // Мир дорог. – 2021. – № 140. – С. 88–91.

3. Фоменко С.А., Гаранжа И.М., Танасогло А.В. Динамическое демпфирование колебаний конструкций жесткой ошиновки // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 10. – С. 89-95. – DOI: 10.33622/0869-7019.2023.10.89-95.

СПИСОК ОРГАНИЗАЦИЙ – УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ И ИХ АДРЕСА

Азербайджанская государственная морская академия

AZ1000, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Зарифы Алиевой, д. 18

Тел.: +994 12 4987394, факс: +994 12 4937521

E-mail: akademiya@asco.az

АНОО ВО «Донецкая академия транспорта»

283086, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, пр. Дзержинского, д. 7

Тел.: +7 (856) 345-21-90, +7 (856) 345-23-97

E-mail: mail@dat-dn.ru

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры – филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2

Тел.: +7 (856) 343-70-33

E-mail: mailbox@donnasa.ru

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1

Тел./Факс: +7 (8512) 61-43-66

E-mail: astu@astu.ru

ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»

603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д. 5

Тел.: +7 (831) 419-47-56

E-mail: otd_o@vsuwt.ru

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»

198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7

Тел.: +7 (812) 748-96-92, +7 (812) 748-96-93

E-mail: otd_o@gumrf.ru

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

283001, г. Донецк, ул. Артема, д. 58

Тел.: +7(856) 301-07-69

E-mail: donntu.info@mail.ru

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

291034, Луганская Народная Республика, г. Луганск, квартал Молодежный, д. 20А

Тел./Факс: +7 (8572) 34-48-28

E-mail: dahl.univer@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 50а

Тел.: +7 (423) 230-12-51

E-mail: office@msun.ru

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева»

603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24

Тел.: +7 (831) 436-63-07

E-mail: nntu@nntu.ru

ФГБУН «Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН»

684034, Камчатский край, Елизовский район, с. Паратунка, ул. Мирная, д. 7

Тел.: +7 (41531) 33193, факс: +7 (41531) 33718

E-mail: ikir@ikir.ru