

УДК 629.122

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ СУДОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА

Зяблов Олег Константинович¹, доцент, кандидат технических наук

e-mail: zyablov_ok@mail.ru

Фархутдинов Эмиль Рустамович¹, магистрант

e-mail: yombu-2@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В данной статье проводится детальный сравнительный анализ различных типов винторулевого комплекса, применяемых на судах этого класса, с учетом гидродинамических, конструктивных и экономических аспектов. Цель исследования – выявление оптимальных решений для модернизации существующих и проектирования новых судов.

Ключевые слова: винторулевой комплекс, гребной винт, перо руля, винторулевая колонка, азимутальный движитель.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ROTARY STEERING SYSTEMS FOR OPTIMIZING THE NAVIGABILITY OF DRY CARGO SHIPS OF THE VOLGODON MAX CLASS

Oleg K. Zyablov¹, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

e-mail: zyablov_ok@mail.ru

Emil R. Farkhutdinov¹, Master's Degree student

e-mail: yombu-2@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article substantiates the need for structural modernization of vessels when transitioning to alternative fuels, such as liquefied natural gas (LNG), methanol, and hydrogen. The primary focus is on ice-class vessels operating in environmentally sensitive regions, for example, the Arctic.

Keywords: shipbuilding, alternative fuels, LNG (liquefied natural gas), vessel modernization, environmental regulations, Arctic shipping, dual-fuel systems, cryogenic technologies.

Введение

Судоходство играет важную роль в мировой экономике, поэтому, с ростом требований к охране окружающей среды и устойчивому развитию, возникает необходимость пересмотра традиционных методов эксплуатации судов. Одним из ключевых аспектов модернизации судов является переход на альтернативные виды топлива, что открывает

новые возможности для снижения воздействия судоходства на экосистемы и повышения энергоэффективности. В условиях глобальных экологических вызовов и ужесточения международных норм, использование альтернативных источников энергии становится не только трендом, но и необходимостью для дальнейшего развития судостроительной отрасли.

1. Обоснование необходимости модернизации

1.1 Стратегические предпосылки для перехода на гибридные энергетические решения

Современные тенденции в судостроении диктуют принципиально новые подходы к проектированию энергетических систем. Особое значение это приобретает для судов ледового класса, работающих в экологически чувствительных регионах, таких как Арктика. Переход на комбинированные топливные системы — это не просто ответ на нормативные требования [1], а стратегический шаг, определяющий конкурентоспособность судна на протяжении всего жизненного цикла [6].

1.2 Технологический прорыв в судовой энергетике

Использование dual-fuel технологий открывает доступ к принципиально иному уровню эксплуатационной гибкости. Возможность переключения между различными видами топлива позволяет оптимизировать работу судна в зависимости от района плавания, экономической конъюнктуры и экологических ограничений [3]. Для арктических перевозок это особенно актуально, учитывая разнообразие климатических зон и особый статус Северного морского пути [5].

1.3 Практическая значимость проекта

Предлагаемая модернизация сухогруза ледового класса — это комплексное решение, сочетающее инновационные инженерные разработки с практическими требованиями судоходства. Проект направлен не только на достижение нормативных показателей [2], но и на создание эталонного образца для последующего тиражирования в отрасли. Особое внимание уделено адаптации систем к экстремальным условиям эксплуатации, что обеспечит надежность работы в высоких широтах при сохранении всех эксплуатационных характеристик [7].

1.4 Научная новизна подхода

Разрабатываемые решения основаны на последних достижениях в области криогенных технологий [4] и систем автоматизированного управления энергетическими установками. Это позволяет создать уникальную конфигурацию, оптимально подходящую для условий работы на Северном морском пути, где традиционные технические подходы часто оказываются неэффективными [3]. Проект учитывает как текущие технологические возможности, так и перспективы дальнейшей модернизации под новые виды экологичного топлива [6].

2. Выбор альтернативного топлива

Среди альтернативных вариантов топлива наиболее перспективными считаются сжиженный природный газ (СПГ), метанол и водород. Каждый из них обладает уникальными характеристиками, которые необходимо учитывать при проектировании судовых энергетических систем [3].

2.1 СПГ как оптимальное решение

Сжиженный природный газ в настоящее время является наиболее сбалансированным выбором для большинства типов судов. Его ключевое преимущество — значительное снижение вредных выбросов: до 90% меньше оксидов азота (NO_x), полное отсутствие выбросов серы (SO_x) и сокращение выбросов CO₂ на 20-25% по сравнению с традиционным



дизельным топливом [1]. Кроме того, развивающаяся инфраструктура бункеровки СПГ и относительно стабильные цены делают этот вариант экономически привлекательным [6].

2.2 Метанол — компромиссный вариант

Метанол представляет интерес благодаря своей простоте хранения и использования в существующих топливных системах [3]. Однако его экологические показатели уступают СПГ, а токсичность требует особых мер безопасности [8]. Главное преимущество метанола — возможность постепенного перехода с традиционного топлива, что может быть важно для некоторых судовладельцев [5].

2.3 Водород — топливо будущего

Водородные технологии демонстрируют наибольший экологический потенциал с нулевым уровнем вредных выбросов [3]. Однако на текущем этапе их внедрение ограничено отсутствием инфраструктуры, высокими затратами и техническими сложностями, особенно для крупнотоннажных судов [6]. Водород скорее рассматривается как перспективное направление для будущих модернизаций [2].

2.4 Критерии выбора

При определении оптимального топлива необходимо учитывать комплекс факторов: техническую реализуемость модернизации, доступность топлива в регионах эксплуатации, капитальные и эксплуатационные затраты, а также перспективы ужесточения экологических норм [1]. Для большинства существующих судов, особенно работающих в чувствительных экологических зонах, СПГ сегодня представляет собой наиболее практичное и экономически обоснованное решение [3, 6].

3. Конструктивные изменения судна

Переоборудование судна под dual-fuel систему требует комплексной модернизации корпусных конструкций, затрагивающей как общую архитектуру судна, так и отдельные элементы его конструкции. Основные преобразования сосредоточены в кормовой части, где размещаются криогенные цистерны для хранения сжиженного природного газа (СПГ) [4].

3.1 Усиление корпусных конструкций

Для безопасного размещения криогенных цистерн необходимо выполнить ряд конструктивных доработок:

- Установка дополнительных продольных балок и шпангоутов – усиление корпуса осуществляется с применением высокопрочных сталей, что позволяет компенсировать дополнительные нагрузки от веса цистерн и динамические воздействия при качке [7].
- Увеличение толщины палубного настила – в зоне монтажа топливных емкостей толщина палубы увеличивается на 20-30% в зависимости от расчетных нагрузок.
- Защита от обледенения – все новые элементы конструкции в районе ватерлинии выполняются из морозостойких сталей марки АН36/DH36/EN36 с многослойным антикоррозионным покрытием (эпоксидные составы + цинконаполненные грунты) [4].

3.2 Модернизация верхней палубы

Архитектура верхней палубы подвергается значительным изменениям:

- Создание технологической платформы – в кормовой части формируется усиленная площадка для размещения криогенного оборудования (испарители, газовые модули, системы контроля). Платформа интегрируется в силовой набор корпуса с помощью сварных соединений класса PSPC (Performance Standard for Protective Coatings) [7].
- Защитные кожухи – цистерны и трубопроводы закрываются алюминиевыми кожухами с системой подогрева (электрические нагревательные ленты или паровые рубашки) для предотвращения конденсации влаги и обледенения [4].



- Ограждения безопасности – по периметру зоны хранения СПГ устанавливаются усиленные леерные ограждения высотой 1,2 м с двойными поручнями и противоскользящим покрытием, соответствующие требованиям IMO MSC.1/Circ.1580 [7].

3.3 Перепланировка внутренних помещений

Внутренняя компоновка судна также требует адаптации:

- Газонепроницаемые переборки – в машинном отделении монтируются переборки класса А-60 (огнестойкость 60 минут) с уплотнениями из инконеля или керамических волокон. Это обеспечивает изоляцию топливной системы в случае утечки газа [7].

- Система вентиляции – устанавливаются дополнительные вентиляционные каналы с датчиками мониторинга концентрации метана (диапазон срабатывания 10-20% от НКПВ).

- Балластировка – для компенсации возросшей массы (до 15-20% от исходного водоизмещения) выполняется перераспределение балласта с коррекцией диаграммы остойчивости. Применяются алгоритмы динамической балансировки, учитывающие изменение центра тяжести при расходовании топлива [8].

3.4 Дополнительные технические решения

Аварийные клапаны – на газовых магистралях устанавливаются клапаны с дистанционным приводом и автоматическим срабатыванием при превышении давления или обнаружении утечки.

Термоизоляция – криогенные цистерны оснащаются вакуумной изоляцией VIP (Vacuum Insulated Panels) с коэффициентом теплопередачи не более 0,15 Вт/(м·К) [4].

4. Преимущества и перспективы модернизации

4.1 Экологические и экономические преимущества перехода на СПГ

Перевод судовых энергетических установок на сжиженный природный газ открывает новые перспективы для морского транспорта. Главным экологическим преимуществом является радикальное снижение вредных выбросов - полностью исключаются выбросы серы, на 85-90% сокращаются оксиды азота, а выбросы CO₂ уменьшаются на 20-25% [1, 3]. Это позволяет не только соответствовать текущим нормативам IMO [2], но и создает запас по экологичности на ближайшие 10-15 лет [6].

С экономической точки зрения переход на СПГ дает судовладельцам существенные конкурентные преимущества. Стабильно низкая цена газа по сравнению с дизельным топливом обеспечивает сокращение топливных расходов на 25-40% [3]. Дополнительную выгоду приносит доступ к специальным "зеленым" тарифам в портах и участие в экологических программах, что повышает коммерческую привлекательность судна [5].

4.2 Перспективы развития и технологические возможности

Использование СПГ создает основу для дальнейшей модернизации энергетических систем. Уже в среднесрочной перспективе (3-5 лет) возможно частичное замещение обычного СПГ его биоверсией, что позволит сократить углеродный след еще на 80-90% [6]. Конструктивные решения, заложенные при модернизации, предусматривают возможность будущей адаптации к работе на синтетическом метане или водородных смесях [3].

Долгосрочные перспективы связаны с постепенным переходом к полностью углеродно-нейтральным решениям. Интеграция систем улавливания углерода и использование возобновляемого СПГ открывают путь к нулевым выбросам [2, 6]. При этом изначальные инвестиции в модернизацию остаются защищенными, так как техническая платформа допускает последовательное внедрение новых технологий без кардинальной переделки судна [7].



Заключение

Модернизация судна ледового класса под dual-fuel систему с СПГ потребует значительных конструктивных изменений. Основные преобразования включают усиление корпуса дополнительными балками и шпангоутами из высокопрочной стали, увеличение толщины палубного настила, а также применение морозостойких материалов с усиленной антикоррозионной защитой. На верхней палубе будет создана специальная платформа для криогенного оборудования с алюминиевыми кожухами и системой подогрева.

Внутренние помещения подвергнутся перепланировке с установкой газонепроницаемых переборок класса А-60 и модернизацией систем вентиляции. Для обеспечения безопасности предусмотрена вакуумная изоляция цистерн, аварийные клапаны и системы газового мониторинга. Эти решения позволят сохранить остойчивость и управляемость судна при увеличении его массы.

Реализация проекта не только обеспечит соответствие экологическим стандартам, но и создаст основу для будущей адаптации под новые виды топлива. Примененные конструктивные решения могут быть тиражированы на других судах ледового класса, что делает данный проект перспективным для развития арктического судоходства.

Список литературы:

1. МАРПОЛ 73/78. Приложение VI "Правила предотвращения загрязнения воздуха с судов". - СПб.: ЗАО "ЦНИИМФ", 2020. - 89 с.
2. Резолюция ИМО МЕРС.304(72) "Первоначальная стратегия ИМО по снижению выбросов ПГ с судов". - М.: Моррегистр, 2018.
3. Петров А.В. Альтернативные виды топлива в судоходстве: СПГ, метанол, водород. - СПб.: Судостроение, 2022. - 320 с.
4. Смирнов Г.И. Криогенные системы морских судов. - М.: Транспорт, 2021. - 415 с.
5. Андерсон Дж. Экологичное судоходство: глобальные тренды / пер. с англ. Ивановой М.П. - Владивосток: Дальнаука, 2021. - 276 с.
6. DNV GL. Перспективы судоходства до 2050 года (перевод отчета Maritime Forecast). - М.: Мортехинформ, 2020. - 145 с.
7. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Т.1. - СПб.: РС, 2023.
8. ГОСТ Р 58774-2020 "Судовые энергетические установки на альтернативных видах топлива".

