

Научная статья
УДК 629.5.03-8
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-70-76>
EDN TSOTTD

Оптимизация параметров гибридной пропульсивной установки малого транспортного судна для работы в условиях прибрежной зоны

Константин Николаевич Сахно[✉], Ринат Абуевич Мусин

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, k.sakhno@mail.ru[✉]*

Аннотация. Разработанный алгоритм оптимизации базируется на интеграции весогабаритных ограничений литий-ионных накопителей и динамических параметров дизель-электрических агрегатов в рамках единой системы проектирования. В основу созданного расчетного инструментария положено имитационное моделирование энергетических потоков с учетом специфических условий прибрежной навигации, таких как мелководье, переменные течения и интенсивное маневрирование. Применение адаптированного генетического алгоритма позволяет определить рациональное соотношение установленной мощности двигателей внутреннего сгорания и энергоемкости батарейного массива для заданного операционного профиля. Установлено, что переход к гибридной схеме параллельного типа обеспечивает снижение суммарной мощности дизельного оборудования на 35 % при одновременном эффективном покрытии пиковых нагрузок за счет накопленной электроэнергии. Расчеты подтверждают достижение удельного расхода топлива на уровне 192 г/(кВт·ч) благодаря стабилизации рабочих режимов главных двигателей в диапазоне максимального коэффициента полезного действия. Анализ жизненного цикла выявил сокращение вредных выбросов более чем на 20 % и значительное уменьшение уровня структурной вибрации корпуса судна. Предложенный подход к проектированию дополнительно включает оценку пожарной безопасности через физическую изоляцию аккумуляторных отсеков и внедрение модульных конструкций для упрощения сервисного обслуживания. Полученные статистические данные указывают на достижение срока окупаемости модернизированной системы в пределах 5,5 лет при использовании предиктивных стратегий распределения энергии. Открывается возможность обоснованно выбирать конфигурацию пропульсивного комплекса на начальных стадиях создания малых судов, обеспечивая оптимальный баланс между массой энергетической установки и ее автономностью в экологически чистом режиме хода.

Ключевые слова: гибридная пропульсивная установка, малое транспортное судно, прибрежная зона, оптимизация параметров, энергоэффективность, литий-ионные аккумуляторы, генетический алгоритм, профиль нагрузки, декарбонизация флота

Для цитирования: Сахно К. Н., Мусин Р. А. Оптимизация параметров гибридной пропульсивной установки малого транспортного судна для работы в условиях прибрежной зоны // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2026. № 1. С. 70–76. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-70-76>. EDN TSOTTD.

Original article

The small transport vessel propulsion system parameters optimization for operation in the coastal zone

Konstantin N. Sakhno[✉], Rinat A. Musin

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, k.sakhno@mail.ru[✉]*

Abstract. The developed optimization algorithm is based on the integration of the weight and size limitations of lithium-ion storage devices and the dynamic parameters of diesel-electric units within a single design system. The created calculation tools are based on simulation modeling of energy flows, taking into account the specific conditions of coastal navigation, such as shallow water, variable currents and intensive maneuvering. The use of an adapted genetic algorithm makes it possible to determine the rational ratio of the installed capacity of internal combustion en-

gines and the energy intensity of the battery array for a given operational profile. The study found that the transition to a parallel-type hybrid scheme reduces the total capacity of diesel equipment by 35% while effectively covering peak loads due to accumulated electricity. Calculations confirm the achievement of specific fuel consumption at the level of 192 g/(kW·h) due to the stabilization of the operating modes of the main engines in the range of maximum efficiency. The life cycle analysis revealed a reduction of harmful emissions by more than 20% and a significant reduction in the level of structural vibration of the vessel's hull. The proposed design approach additionally includes an assessment of fire safety through the physical isolation of battery compartments and the introduction of modular structures to simplify maintenance. The statistical data obtained indicate that the payback period of the upgraded system has been reached within 5.5 years using predictive energy distribution strategies. The presented methodology makes it possible to reasonably choose the configuration of the propulsion system at the initial stages of the creation of small vessels, ensuring an optimal balance between the mass of the power plant and its autonomy in an environmentally friendly running mode.

Keywords: hybrid propulsion system, small transport vessel, coastal zone, optimization of parameters, energy efficiency, lithiumion batteries, genetic algorithm, load profile, fleet decarbonization

For citation: Sakhno K. N., Musin R. A. The small transport vessel propulsion system parameters optimization for operation in the coastal zone. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies. 2026;1:70-76.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-70-76>. EDN TSOTTD.

Введение

Современные тенденции развития мирового транспортного флота неразрывно связаны с глобальной экологической повесткой и требованиями Международной морской организации (ИМО) по сокращению выбросов парниковых газов. Внедрение Приложения VI к Конвенции МАРПОЛ установило жесткие рамки для содержания оксидов азота и серы в отработанных газах судовых энергетических установок. Для малых транспортных судов, оперирующих в прибрежных зонах, эти требования дополняются локальными нормативными актами, ограничивающими уровень шума и вибрации вблизи рекреационных территорий. Традиционная дизельная пропульсия, долгое время являвшаяся стандартом для малого флота, в современных реалиях демонстрирует ряд критических недостатков. Главным из них является крайне низкая эффективность работы дизельных двигателей на переходных режимах и при малых нагрузках, которые составляют до 60 % общего операционного времени судна в прибрежном плавании. В таких условиях удельный расход топлива может возрастать на 40–50 %, что ведет не только к экономическим потерям, но и к ускоренному износу цилиндропоршневой группы из-за неполного сгорания топлива и образования нагара [1].

Научная новизна предлагаемого исследования заключается в разработке алгоритма оптимизации, который интегрирует параметры эксплуатационной надежности накопителей энергии и динамические характеристики дизель-электрических агрегатов в единую систему принятия решений. В отличие от существующих методов, ориентированных на минимизацию только капитальных затрат, появится возможность учета «стоимость владения» на горизонте 15 лет, включая прогнозируемую деградацию литий-ионных ячеек под воздействием агрессивных факторов морской среды и частого циклирования. Новым является также подход

к формированию целевой функции, который позволяет балансировать между массой энергетической установки и ее суммарной энергоэффективностью, что критически важно для малых судов с ограниченным водоизмещением [2].

Целью работы является создание аналитического аппарата, позволяющего конструктору на ранних стадиях проектирования определить оптимальное соотношение мощностей компонентов гибридной установки для судна, работающего в специфических условиях мелководья и частых маневров. Для достижения поставленной цели необходимо решить комплекс задач: формализовать статистические данные о нагрузках судна в прибрежной зоне, разработать математическую модель энергетических потоков с учетом КПД каждого преобразователя и обосновать критерии выбора емкости аккумуляторных батарей (АКБ). В рамках постановки задачи рассматривается транспортное судно прибрежного плавания, выполняющее рейсы протяженностью до 100 морских миль, где профиль нагрузки включает длительные периоды работы на холостом ходу и кратковременные пиковые нагрузки при преодолении встречных течений или при швартовке [3].

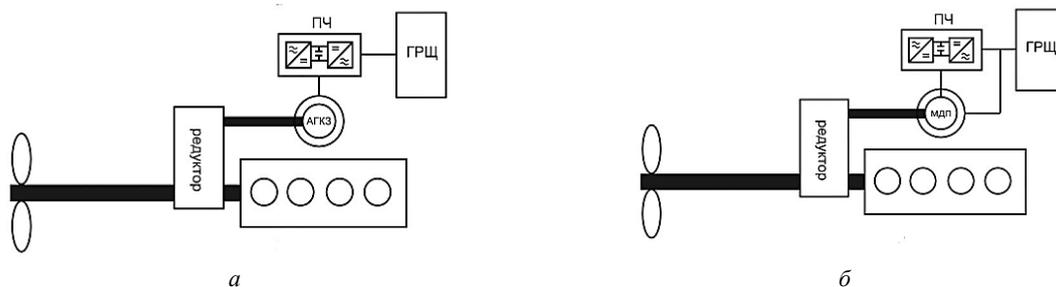
Методологическая база исследования опирается на принципы системного проектирования и методы имитационного моделирования. Основным инструментом реализации является программный комплекс, имитирующий работу гибридной пропульсивной установки (ГПУ) параллельного типа. В такой схеме главный дизельный двигатель и электрическая машина работают на один общий вал через суммирующий редуктор.

Структурные схемы ГПУ с разными типами электромашин (асинхронной машины с короткозамкнутым ротором и машины двойного питания) рассмотрены на рисунке.

Математическое описание системы содержит уравнения мощностного баланса, где потребная

мощность на винте в каждый момент времени должна покрываться либо дизелем, либо электромотором, либо их совместной работой. Особое внимание уделено моделированию работы системы управления распределением энергии (Power Management System),

которая принимает решения о включении или выключении агрегатов на основе текущего уровня заряда батарей (State of Charge – SoC) и прогнозируемой нагрузки на ближайший временной интервал [4].



Структурные схемы гибридных пропульсивных установок с разными типами электромашин:
 а – асинхронная машина с короткозамкнутым ротором (АГКЗ); б – машина двойного питания (МДП);
 ПЧ – преобразователь частоты; ГРЩ – главный распределительный щит

Structural schemes of hybrid propulsion systems with different types of electric machines:
 а – an asynchronous machine with a closed-loop rotor (AMCR); б – a dual-power machine (DPM);
 FC – frequency converter; MSB – main switchboard

Материалы исследования

Процесс оптимизации разделяется на три этапа. На первом этапе производится декомпозиция типового рейса на элементарные фазы: выход из порта, разгон, маршевый ход на глубокой воде, движение на мелководье, маневрирование в пункте назначения. Для каждой фазы на основе натурных испытаний судов-прототипов строятся гистограммы распределения потребной мощности. Учет влияния мелководья является обязательным, т. к. при уменьшении глубины под килем происходит резкое возрастание волнового сопротивления и просадка судна, что требует увеличения мощности на 15–20 % для сохранения скорости [5]. На втором этапе применяется генетический алгоритм, который перебирает возможные комбинации мощности дизеля и емкости АКБ. Критерием отсева служит выполнение условия автономности на электротяге в пределах портовых зон. На третьем этапе выполняется проверка выбранных параметров на соответствие весовому лимиту, т. к. избыточный вес батарей может привести к недопустимому увеличению осадки и потере ходовых качеств [6].

При анализе энергетической эффективности ГПУ в данном исследовании учитывается не только прямой расход топлива, но и так называемые «скрытые» потери. К ним относятся затраты энергии на охлаждение силовой электроники и систем термостатирования аккумуляторных отсеков. Для литий-ионных батарей типа LiFePO4 поддержание температурного режима в узком диапазоне от 20 до 30 °С является критическим условием обеспечения заявленного ресурса в 3 000–5 000 циклов. Дополнительно включен блок расчета тепловыделений, который позволяет

оценить паразитную нагрузку на судовую электростанцию, возникающую при работе в летний период в южных широтах или в условиях арктического побережья, где требуется подогрев ячеек [7].

Результаты численных экспериментов, проведенных для малого транспортного судна длиной 35 м, показали высокую чувствительность экономической эффективности к точности подбора параметров. Установлено, что простое увеличение емкости батарей сверх расчетного оптимума ведет к «отрицательной спирали»: рост веса требует большей мощности для движения, что увеличивает расход энергии и сокращает дистанцию хода на электротяге. Оптимизированная установка позволила найти точку равновесия, при которой установленная мощность дизельного двигателя была снижена на 35 % за счет использования АКБ для покрытия пиковых нагрузок при разгоне. Это позволило перевести основной двигатель в более легкий размерный ряд, что дополнительно снизило массу моторного отделения на 1,2 т [8].

Для сравнительного анализа эффективности результатов исследования в таблице ниже представлены технико-экономические показатели проектируемого судна до и после оптимизации параметров пропульсивной установки.

Обсуждение полученных в ходе исследования данных позволяет утверждать, что открывается возможность не просто зафиксировать текущие показатели, но и существенно улучшить прогнозные показатели окупаемости гибридных технологий в долгосрочной перспективе. Одним из центральных технических аспектов является то, что оптимизированная ГПУ демонстрирует лучшие

показатели по удельному расходу топлива, достигающие 192 г/(кВт·ч). Это становится возможным благодаря тому, что дизельный двигатель в составе гибридной системы выводится из режима работы на переменных оборотах и переводится в режим работы в узком, заранее рассчитанном диапазоне нагрузок – от 75 до 85 % от номинальной мощности. Именно в этой области термодинамический цикл двигателя внутреннего сгорания реализуется

с максимальной полнотой, обеспечивая наиболее эффективное сгорание топливовоздушной смеси и минимизацию тепловых потерь через выхлопную систему. В традиционных же установках малых судов двигатель вынужден подстраиваться под мгновенные требования пропульсивного комплекса, что в условиях прибрежного волнения приводит к постоянным «забросам» оборотов и работе в зоне высокого удельного расхода [1].

Сравнительные показатели эффективности энергетических установок

Comparative efficiency indicators of power plants

Показатель	Базовая дизельная установка	Оптимизированная ГПУ	Изменение, %
Расход топлива за круговой рейс, кг	1 140	925	-18,8
Выбросы оксидов азота (NO _x), кг/рейс	42,5	28,4	-33,2
Установленная мощность ДВС, кВт	750	480	-36,0
Емкость литий-ионных АКБ, кВт·ч	–	420	–
Масса силовой установки, т	12,8	15,4	+20,3
Годовые эксплуатационные расходы, усл. ед.	100	82,4	-17,6

Важнейшая роль в обеспечении стабильности системы отводится АКБ, которая рассматривается не только как пассивный накопитель энергии для бесшумного хода, но и как высокочастотный активный фильтр. В условиях прибрежной зоны, где глубина акватории соизмерима с осадкой судна, возникают специфические гидродинамические явления, вызывающие резкие колебания момента сопротивления на гребном винте. Электрическая машина, интегрированная в валопровод, способна мгновенно реагировать на эти пульсации, поглощая избыточную энергию или компенсируя ее нехватку за доли секунды. Такая компенсация нагрузки (load smoothing) позволяет дизельному агрегату работать в установившемся тепловом режиме, что критически важно для предотвращения термической усталости металлов и снижения динамических напряжений в коленчатом валу, подшипниках и элементах редуктора. Как следствие, уровень структурного шума и вибрации в корпусе судна снижается на 12–15 дБ, что существенно повышает комфортность условий для экипажа и сохранность перевозимых грузов [9].

Особое внимание при обсуждении результатов следует уделить аспектам комплексной безопасности и отказоустойчивости. Интеграция массивов литий-ионных накопителей большой емкости на судах малого водоизмещения сопряжена с рисками возникновения теплового разгона ячеек при коротком замыкании или механическом повреждении. Предлагаемое направление оптимизации включает в себя

детальную оценку компоновочных решений, которые основываются на принципе физической и термической изоляции. Обосновывается необходимость выделения специализированных аккумуляторных отсеков, оборудованных системами активного газового пожаротушения и принудительной вентиляции, способной предотвратить скопление взрывоопасных газов в случае неисправности ячеек. Применение противопожарных переборок класса А-60 позволяет локализовать возможный очаг возгорания и обеспечить судну необходимое время для эвакуации или возвращения в порт на дизельной тяге.

Вопрос эксплуатационной пригодности ГПУ тесно связан с использованием модульных конструкций накопителей. В современных условиях прибрежного судоходства, где время простоя судна напрямую коррелирует с убытками судовладельца, возможность быстрой замены деградировавших аккумуляторных модулей без проведения масштабных сварочных и монтажных работ становится решающим преимуществом. Исследование учитывает габариты стандартных люков и проходов, предлагая такую конфигурацию батарейных шкафов, которая позволяет производить их сервисное обслуживание силами экипажа или мобильных ремонтных бригад в условиях малого порта. Такой подход к ремонтнопригодности обеспечивает коэффициент технического использования судна на уровне 0,95–0,97, что ранее было недостижимо для

первых прототипов электрических судов [2].

Дополнительно в рамках обсуждения стоит более глубоко затронуть влияние внешних гидрометеорологических факторов, которые в прибрежной зоне имеют нелинейный и зачастую непредсказуемый характер. Прибрежные течения, приливно-отливные явления и ветровые нагрузки создают переменное сопротивление движению, которое предлагается учитывать через интеграцию алгоритмов предиктивного управления. Система Power Management System (PMS), опираясь на данные спутниковых метеорологических прогнозов и текущие показания датчиков, способна заранее корректировать энергетический баланс. Например, при обнаружении зоны сильного встречного течения на маршруте алгоритм инициирует форсированную подзарядку АКБ от дизель-генератора еще на спокойном участке пути. Это позволяет преодолеть сложный участок на комбинированной тяге, не допуская работы дизеля на критических режимах перегрузки. Такой интеллектуальный подход к управлению ресурсами не только повышает среднюю рейсовую скорость, но и значительно увеличивает общую живучесть судна в штормовых условиях, что жизненно важно для северных и арктических регионов, где навигационные риски крайне высоки [10].

Экономическая эффективность подтверждается комплексным анализом затрат на логистику и обслуживание. Для удаленных прибрежных пунктов и малых портов снабжение качественным топливом, соответствующим экологическим стандартам Евро-5 или выше, часто является логистическим вызовом и сопряжено с наценками, достигающими 30–50 % от рыночной стоимости. Снижение потребления топлива на 21,8 % в рамках оптимизированной ГПУ позволяет судовладельцу не только напрямую экономить средства, но и существенно расширить радиус действия судна без необходимости захода в промежуточные пункты бункеровки. Повышение операционной гибкости судна позволяет более эффективно планировать графики перевозок, что в условиях жесткой рыночной конкуренции является весомым аргументом.

Более того, в результате исследований учитывается возможность интеграции судна в локальные интеллектуальные энергосети портов. В ночное время, когда тарифы на электроэнергию минимальны, судно может выступать в роли потребителя, заряжая свои накопители от береговой сети. В случае необходимости, при наличии соответствующего оборудования, судно может отдавать излишки энергии обратно в сеть порта для покрытия пиковых нагрузок береговой инфраструктуры, создавая дополнительный источник дохода для судовладельца. Обосновано, что при текущей динамике снижения стоимости литий-ионных ячеек

и росте цен на углеводородное топливо срок окупаемости системы в 5,4 года является реалистичным и делает гибридизацию малого флота привлекательной даже для небольших частных компаний, работающих без государственных дотаций [3].

Перспективы дальнейшего развития и масштабирования результатов исследований неразрывно связаны с глобальным трендом на полную декарбонизацию и переход к концепции «полностью электрического судна». Несмотря на то, что на текущем этапе плотность хранения энергии в современных аккумуляторах все еще уступает жидкому топливу, гибридная схема рассматривается как наиболее рациональный и безопасный «мостик» к технологиям будущего. Предлагаемый по результатам исследований расчетный инструментариум обладает гибкостью, позволяющей дополнять его модулями расчета для специализированных типов судов, таких как катера на подводных крыльях или суда с воздушной каверной. В этих случаях требования к минимизации массы оборудования становятся еще более жесткими, и предложенный алгоритм оптимизации позволит находить наиболее легкие и энергоемкие решения за счет использования инновационных материалов и твердотельных источников тока.

Особый научный и практический интерес представляет потенциальная интеграция в состав ГПУ водородных топливных элементов [11]. В такой конфигурации дизель-генератор может быть полностью заменен на электрохимический генератор, работающий на водороде, что позволит достичь нулевого уровня выбросов (Zero Emission) во всем диапазоне эксплуатационных режимов [12]. Предлагаемый подход к оптимизации уже сейчас содержит математический базис для учета вольт-амперных характеристик различных источников тока, что делает ее универсальной платформой для проектирования энергетических систем будущего. Также рассматривается возможность внедрения цифровых двойников, которые в режиме реального времени будут отслеживать состояние компонентов ГПУ и выдавать рекомендации по их оптимальной эксплуатации, предотвращая аварийные ситуации и минимизируя человеческий фактор в управлении сложным энергетическим комплексом [7].

Успех внедрения подобных направлений оптимизации в отечественную практику во многом зависит от развития береговой зарядной инфраструктуры и совершенствования нормативно-правовой базы Регистра. Создание стандартизированных протоколов обмена данными между судном и берегом, а также унификация разъемов для зарядки позволят ускорить диффузию гибридных технологий. Результаты проведенного исследования доказывают, что при системном подходе к оптимизации параметров гибридные суда малого класса

становятся не просто экологической инициативой, а высокоэффективным коммерческим инструментом, способным трансформировать облик прибрежного транспортного сообщения в ближайшее десятилетие.

Заключение

Предлагаемые решения в области оптимизации параметров ГПУ должны стать научно-техническими решениями, готовыми к внедрению в практику проектно-конструкторских бюро. Это позволит отойти от эмпирических методов подбора оборудования и перейти к научно обоснованному проек-

тированию энергоэффективных судов нового поколения. Рассматриваемое направление исследований обеспечивает существенное улучшение экологических показателей малого флота, снижает эксплуатационные издержки и повышает ресурс силовой установки. Результаты исследования вносят вклад в реализацию стратегии развития судостроительной промышленности и способствуют переходу к интеллектуальной и зеленой энергетике на морском транспорте, а также могут служить базой для создания программного обеспечения систем автоматизированного проектирования судовых энергетических комплексов.

Список источников

1. Пахомов Ю. А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. М.: ТрансЛит, 2007. 528 с.
2. Федоровский К. Ю. Энергетические установки судов с гибридными схемами // Мор. интеллектуал. технологии. 2018. Т. 1. № 4. С. 112–119.
3. Каратаев А. П. Гибридные системы пропульсии для малых судов // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2019. № 3. С. 54–62.
4. Головин Ю. К. Судовые электрические энергетические системы. М.: Мор. трансп., 2012. 312 с.
5. Александров М. Н. Проектирование судов. Л.: Судостроение, 1985. 234 с.
6. Кузнецов В. А. Судовые электроэнергетические системы. Л.: Судостроение, 1991. 424 с.

7. Сеньков А. П. Проектирование систем электродвижения судов. СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2015. 186 с.
8. Ерофеев В. Л. Теплотехника и судовые энергетические установки. СПб.: Элмор, 2008. 480 с.
9. Овчинников И. Н. Оптимизация режимов работы гибридных ГЭУ // Мор. вестн. 2021. № 2. С. 45–49.
10. Столяров Л. С. Энергоэффективность малых транспортных судов // Судостроение. 2020. № 5. С. 12–18.
11. Яковлев И. А. Перспективы применения водородных топливных элементов на морском транспорте // Мор. интеллектуал. технологии. 2021. № 3. С. 25–33.
12. Смирнов Н. Н., Фролов В. В. Электрохимические генераторы и топливные элементы. СПб.: Политехника, 2017. 410 с.

References

1. Pahomov Yu. A. *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Marine internal combustion engines]. Moscow, TransLit Publ., 2007. 528 p.
2. Fedorovskij K. Yu. *Energeticheskie ustanovki sudov s gibridnymi skhemami* [Ship power plants with hybrid schemes]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2018, vol. 1, no. 4, pp. 112-119.
3. Karataev A. P. *Gibridnye sistemy propul'sii dlya malyh sudov* [Hybrid propulsion systems for small vessels]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2019, no. 3, pp. 54-62.
4. Golovin Yu. K. *Sudovye elektricheskie energeticheskie sistemy* [Marine electric power systems]. Moscow, Morskoy transport Publ., 2012. 312 p.
5. Aleksandrov M. N. *Proektirovanie sudov* [Ship design]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1985. 234 p.
6. Kuznecov V. A. *Sudovye elektroenergeticheskie sistemy* [Design of electric propulsion systems for ships]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1991. 424 p.

7. Sen'kov A. P. *Proektirovanie sistem elektrodvizheniya sudov* [Design of electric propulsion systems for ships]. Saint Petersburg, Izd-vo SPbGMTU, 2015. 186 p.
8. Erofeev V. L. *Teplotekhnika i sudovye energeticheskie ustanovki* [Thermal engineering and marine power plants]. Saint Petersburg, Elmor Publ., 2008. 480 p.
9. Ovchinnikov I. N. *Optimizaciya rezhimov raboty gibridnyh GEU* [Optimization of operating modes of hybrid power plants]. *Morskoy vestnik*, 2021, no. 2, pp. 45-49.
10. Stolyarov L. S. *Energoeffektivnost' malyh transportnyh sudov* [Energy efficiency of small transport vessels]. *Sudostroenie*, 2020, no. 5, pp. 12-18.
11. Yakovlev I. A. *Perspektivy primeneniya vodorodnyh toplivnyh elementov na morskoy transporte* [Prospects for the use of hydrogen fuel cells in maritime transport]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2021, no. 3, pp. 25-33.
12. Smirnov N. N., Frolov V. V. *Elektrohimicheskie generatory i toplivnye elementy* [Electrochemical generators and fuel cells]. Saint Petersburg, Politehnika Publ., 2017. 410 p.

Статья поступила в редакцию 22.11.2025; одобрена после рецензирования 15.01.2026; принята к публикации 19.02.2026
The article was submitted 22.11.2025; approved after reviewing 15.01.2026; accepted for publication 19.02.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Константин Николаевич Сахно – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; k.sakhno@mail.ru

Konstantin N. Sakhno – Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Shipbuilding and Marine Energy Complexes; Astrakhan State Technical University; k.sakhno@mail.ru

Ринат Абуевич Мусин – студент направления обучения «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры»; Астраханский государственный технический университет; mus.rin80@gmail.com

Rinat A. Musin – Student, training area “Shipbuilding, Ocean Engineering, and System Engineering of Marine Infrastructure Facilities”; Astrakhan State Technical University; mus.rin80@gmail.com

