

Судовые энергетические установки и их элементы

Научная статья

УДК 629.5.01

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/78-89>

С.Г. Черный, А.С. Соболев

ЧЕРНЫЙ СЕРГЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ – заведующий кафедрой, к.т.н., доцент, sergiiblack@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5702-3260>,

Кафедра «Электрооборудование судов и автоматизация производства»

Керченский государственный морской технологический университет

Керчь, Россия

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

Санкт-Петербург, Россия

СОБОЛЕВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ – ассистент, sobolev.alexandr1496@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0003-3453-9349>

Кафедра «Электрооборудование судов и автоматизации производства»

Керченский государственный морской технологический университет

Керчь, Россия

Обзор процессов формирования и повышения энергоэффективности на судах (нормативные и экономические аспекты)

Аннотация. В статье представлен обзор современного состояния энергоэффективности на морском секторе отдельных судов и отрасли в целом, а также нормативно-правовая база судоходного сектора в отношении энергоэффективности. Проведен анализ процедур, применяемых на судах в целях уменьшения энергопотребления и выбросов в зависимости от модификации конструкции и методов эксплуатации. Рассмотрено детально использование концепций по энергосбережению в судовой отрасли, которые можно внедрить в более широком масштабе для повышения эффективности морского сектора. Представлен обзор основных препятствий для реализации этих мер. Хотя текущие стандарты являются временным решением, а некоторые из наиболее заметных улучшений требуют дальнейшего изучения, предлагаемые усилия увеличивают потенциал сектора для более эффективной оптимизации.

Ключевые слова: обзор, анализ, энергоэффективность, методы эксплуатации, энергопотребление, конструкция, судно, конвенция, нормативный документ

Для цитирования: Черный С.Г., Соболев А.С. Обзор процессов формирования и повышения энергоэффективности на судах (нормативные и экономические аспекты) // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 3(56). С. 78–89.

Введение

Модернизация сектора морской индустрии, включая энергоэффективность и правовое обеспечение, достаточно актуальный вопрос исследования. Старые меры по повышению энергоэффективности судов независимо от выбросов CO₂ могут обеспечить 50–60% общих затрат на эксплуатацию судов, что в период экономической рецессии достаточно критично. Сокращение общих затрат всего лишь на 1% может составить ежегодную экономию на больших судах в сотни тысяч долларов. Данные меры по снижению выбросов и экономии энергоресурсов варьируют от снижения мощности, необходимой при проектировании и во время эксплуатации, до более эффективного использования энергии топлива альтернативными системами двигателя и частичной замены энергии топлива возобновляемыми источниками энергии [5–7].

Были проведены обзоры процессов энергоэффективности в нескольких спектрах, а также потенциальных проблем, которые могут удерживать отрасль от реализации потенциала большинства рентабельных мер по повышению энергоэффективности, что позволило выявить ряд проблемных аспектов. Отсутствие комплексного нормативного акта, посвященного изучению и обеспечению соблюдения энергоэффективности, сильно подрывает эффективность и воздействие многих мер регулирования. Предлагаются некоторые решения, такие как разработка более широких показателей, охватывающих области, которые не учитываются в текущем нормативе, или внедрение более современной структуры жизненного цикла на судах для реализации концепции энергопотребления.

Цель энергоэффективности в морской отрасли можно представить тремя задачами:

- дать обзор законодательных и нормативных актов, влияющих на энергоэффективность;
- провести всестороннее исследование усилий, предпринятых в последнее десятилетие для повышения энергоэффективности судов;
- отобразить некоторые варианты, предложенные для повышения энергоэффективности всего морского транспортного сектора, а также обсудить потенциальные препятствия.

Основной вклад публикации – получение четкого представления о состоянии морского сектора и его позиции в отношении энергоэффективности.

Нормативно-правовая база

Не существует регламента, непосредственно касающегося энергоэффективности судов в качестве основного пункта нормативного регулирования. Действующие правила относительно энергоэффективности судов не автономны, а зависят от тех, кто обеспокоен загрязнением окружающей среды, особенно выбросами парниковых газов в атмосферу. Например, основное измерение энергоэффективности (EEDI) не подходит для некоторых типов судов, которые используют определенные энергетические системы, а метод измерения эффективности напрямую связан с выбросами CO₂.

Важно знать происхождение и основную задачу формирующихся нормативов и регламентов, чтобы понять исследования, проведенные в области энергоэффективности на судах. Поэтому будет представлен ряд правил и описание основных мер по обеспечению их соблюдения. Даже те правила, которые напрямую не касаются энергоэффективности, могут накладывать ограничения на разработку более энергоэффективных судовых систем (табл. 1).

Таблица 1

Основные правила поведения на судне

Название	Регион	Описание
Международная морская организация	Международный	Специализированное учреждение Организации объединенных наций, отвечающее за безопасность судоходства и предотвращение загрязнения судами морской и атмосферной среды
ЕС Мониторинг, отчетность и проверка	Европейский	Европейская стратегия постепенной интеграции морских выбросов парниковых газов путем организованного мониторинга потребления топлива судами
Европейский регламент по утилизации судов	Европейский	Нормативное стремление уменьшить негативное воздействие, связанное с утилизацией судов, наряду с введением ряда требований безопасности и охраны окружающей среды
Индекс чистой доставки	Европейский	Практичный инструмент для оценки и классификации экологических характеристик судов с поправками на портовые и дальние сборы для тех, кто лучше всех соответствует требованиям

Название	Регион	Описание
Гонконгская конвенция, или Безопасная и экологически обоснованная утилизация судов	Международный	Норматив предназначен для решения всех вопросов, связанных с утилизацией судов, включая правила проектирования и эксплуатации или инвентаризации опасных материалов
Принципы Посейдона	Международный	Первое в мире самоуправляемое отраслевое соглашение о согласовании климата между финансовыми учреждениями, устанавливающее глобальную основу для оценки и раскрытия соответствия портфелей судового финансирования
Морской грузовой чартер	Международный	Нормы для раскрытия климатической согласованности деятельности по фрахтованию судов по всему миру, установление контрольных показателей и практических рекомендаций для этой цели

Международная морская организация (ИМО)

Рассмотрим общий график создания наиболее важных мер и нормативов ИМО в области энергоэффективности [2–6, 8] (табл. 2).

Таблица 2

График изменений правил ИМО

Даты, г.	Описание изменений
1948	ИМО создается в Женеве под названием Межправительственная морская консультативная организация, или ИМКО
1958	Организация вступает в силу
1967	Катастрофа в каньоне Торри демонстрирует масштабы проблемы загрязнения, особенно при транспортировке нефти.
1973	Реализуется самая большая мера по предотвращению загрязнения – Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ (изменено в 1978 г.)
1997	Протокол МАРПОЛ был утвержден с положениями о загрязнении, в том числе о разливе грузов, сточных водах и загрязнении воздуха
Май 2005	Конвенция МАРПОЛ вступает в полную силу
Апрель 2009	Первое упоминание концепций EEDI (проектный индекс энергоэффективности) и EEOI (эксплуатационный индекс энергоэффективности) для сокращения выбросов парниковых газов в МЕРС 59
17 августа 2009	Начало распространения Руководства по добровольному использованию EEOI
Июль 2011	EEDI становится необходимым для любых новых судов. (Под “новым” подразумевается любое судно, контракт на строительство которого заключен после января 2013 г., которое вступает в фазу строительства после июля 2013 г. или то, которое сдано после июля 2015 г.).
Октябрь 2016	Принятие ИМО DCS (Система сбора данных, МЕРС 70), позволяющей контролировать расход топлива и другие показатели работы транспорта.
Март 2018	Система DCS вступает в полную силу
Январь 2019	Начало первого отчетного периода системы DCS
Ноябрь 2020	EEXI утвержден на 75-й сессии МЕРС в качестве расширения EEDI для помощи в оценке судов, построенных до 2013 г. Ожидается, что он вступит в силу на следующей конференции МЕРС.

Другие важные даты принятия конвенций:

2001 г. – внедрение конвенции о противообрастающих системах;

2004 г. – принятие конвенции об управлении балластными водами для предотвращения инвазии чужеродных видов.

Международная морская организация (ИМО) – наиболее значимая из структур, отвечающих за управление эффективностью морского транспортного сектора. Роль ИМО заключается в создании равных условий, чтобы у судовладельцев были различные способы решения финансовых аспектов, чтобы им не требовалось сокращение бюджета, ставящее под угрозу безопасность персонала, конструкции или окружающей среды, а также в целом способствует инновациям и эффективности. Большинство других систем, занимающихся энергоэффективностью или особенно воздействием судов на окружающую среду, обычно полагаются на критерии ИМО для установления собственных мер [4, 6, 9] (рис. 1).



Рис. 1. Структурное управление Международной морской организацией

Подкомитеты также оказывают влияние на целостное управление структурой организаций и помогают Комитету по безопасности на море. В сфере энергоэффективности ИМО регламентирует и технические комитеты. Комитет по защите морской среды, который регулирует дела, касающиеся защиты морской среды и вопросы энергоэффективности за счет выбросов CO₂.

ИМО также разработала несколько соглашений (конвенций), которые очень важны для судоходства:

- Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС);
- Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ);
- Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ).

Наиболее важной конвенцией в области энергоэффективности является МАРПОЛ [3–9].

Другие международные правила

Показан общий график создания за пределами ИМО других международных правил, имеющих некоторое отношение к вопросу энергоэффективности на судах (табл. 3).

Основными рассматриваемыми организациями будут Гонконгская конвенция, Принципы Посейдона (РР) и Хартия морских грузов (SCC) [1–3, 5, 9].

Сроки действия других международных нормативных актов

Организация	Дата, г.	Описание
НКС	Май 2009	Принята Конвенция о безопасной и экологически чистой утилизации судов
PP	Ноябрь 2017	Первоначальное совещание финансовых учреждений по климатическим рискам при финансировании судов
PP	Апрель 2018	Соглашение ИМО устанавливает уровень амбиций
PP	Июнь 2018	Семинары по климатическим рискам и коллективным амбициям, проведенные в Сингапуре, Лондоне и Нью-Йорке
PP	Август–сентябрь 2018	Редакционная группа начинает работу над первоначальными принципами, которые стали известны как Принципы Посейдона
PP	Октябрь 2018	На саммите Глобального морского форума в Гонконге запрашиваются отзывы промышленных предприятий по первоначальному проекту Принципов Посейдона
PP	Ноябрь 2018 – февраль 2019	Редакционная группа дорабатывает Принципы Посейдона, стимулируя банки и другие финансовые учреждения поддерживать цель ИМО по сокращению выбросов
PP	18 июня 2019	Презентация Принципов Посейдона в Нью-Йорке
SCC	Июнь 2018	Семинар по климатическим рискам и коллективной цели Принципов Посейдона в Лондоне
SCC	Сентябрь 2018 – апрель 2019	Семинары в Сингапуре и Женеве для сбора отзывов от широкой группы заинтересованных сторон о разработке Хартии морских грузов
SCC	Октябрь 2019	Стартовое совещание редакционной группы на ежегодном саммите Глобального морского форума в Сингапуре
SCC	Ноябрь 2019 – март 2020	Редакционная группа начинает работу над первоначальными принципами, которые становятся известными как Устав морских грузов
SCC	Март 2020	Серия вебинаров для получения отзывов о первоначальном проекте Устава морских грузов от более широкой группы заинтересованных сторон
SCC	Март–июнь 2020	Редакционная группа дорабатывает Хартию морских грузов, обеспечивая структуру, аналогичную Принципам Посейдона, но применяемую конкретно к фрахтователям
SCC	7 октября 2020	Запуск Хартии морских грузов во время виртуальной встречи высокого уровня Глобального морского форума

Энергоэффективность на этапе проектирования

В последнее десятилетие были приняты меры по сокращению не только выбросов, но и стоимости рейса судов, существенной составляющей которой является цена топлива. Самым большим преимуществом модификаций конструкции корабля является то, что после внедрения новых конструкций и систем автоматики не требуется постоянного контроля и корректировки для достижения оптимальной производительности. Методы, предлагаемые для повышения энергоэффективности, меняются в зависимости от альтернативных видов топлива и двигателей до модификации корпуса и рекуперации тепла выхлопных газов [3–7].

Для оценки показателей энергоэффективности применяется множество методов в зависимости от типа судна, но большинство из них используют реализации коэффициентов эффективности в качестве основы. Однако это не является обязательным требованием и усложняет задачу оценки эффективности некоторых из этих мер.

Исследования с учетом коэффициента энергоэффективности (EEDI) для инструмента оценки

Несмотря на свои недостатки, EEDI очень полезен в качестве базового показателя сравнения различных нормативов и коэффициентов, поскольку наличие стандартизированного набора значений облегчает оценку воздействия системы. Это подтверждается исследованиями мер по энергоэффективности, а также типов оцениваемых судов и их влияния на них с точки зрения снижения EEDI (табл. 4).

Таблица 4

Меры воздействия с использованием EEDI

Тип используемой модификации	Описание метода	Тип рассматриваемого корабля	Влияние
Модификация параметров корпуса	Восстановление исторических параметров безразмерного дизайна, таких как коэффициент блочности	Танкеры и сухогрузы всех размеров	Значения EEDI снижаются на 10–15% в изученных автопарках
	Уменьшение основных размеров корабля, таких как длина и ширина	Танкеры Panamax с влиянием сухогрузов	Значения EEDI уменьшаются от 2,5 до 0,7% на вычитаемый метр
Оптимизация двигательной установки	Инновационные методы движения, такие как органический цикл Ренкина	Газовозы	EEDI снижается до 0,3 по сравнению с эталонным случаем в лучших системах
	Электрические двигательные установки	Пассажирские суда	Обе рассмотренные структуры соответствуют фазе 3, но система COGES имеет большую погрешность
	Удельная тяга танкера СПГ	Исключительно газовозы	Из рассмотренных систем только дизель-электрическая соответствует фазе 3, но с большим проскальзыванием метана
Гибридные силовые установки	Гибридные системы на генеральных грузовых судах	Маленькие и быстрые перевозчики генеральных грузов	Два из исследованных случаев соответствуют даже самому строгому этапу EEDI.
	Парки гибридных систем	Ро-ро и пассажирские суда	Оба типа исследованных систем имеют значения EEDI ниже эталонного значения для корабля
Альтернативные источники топлива	Разнообразный набор альтернативных технологий, таких как валогенераторы	Очень большой сырой перевозчик	Совокупный эффект инновационных технологий приводит к снижению EEDI до 0,34, примерно на 16%
	Двигатель для жидкого водорода, танкеры	Исключительно танкеры с жидким водородом	Анализируемая оптимальная система представляла собой паровую турбину с водородным котлом и сочеталась даже с фазой 3 EEDI

**Исследования последних 10 лет,
в которых используются другие параметры**

Необходимость регулирования коэффициентов представлена в исследованиях [4–7, 9], в которых EEDI не используется для стандартизации выгод, получаемых от их показателей. В результате способы, которыми эти показатели рассчитываются, различаются – от расхода топлива и выбросов CO₂ в тоннах до экономической выгоды (табл. 5).

Таблица 5

Структура показателей без использования EEDI

Тип используемой модификации	Описание метода	Тип рассматриваемого корабля	Влияние
Модификация параметров корпуса	Периодическая чистка корпуса	Восемь танкеров типа «Афрамекс»	Расход топлива снизился на 9% при очистке под водой и на 17% при постановке в сухой док
Оптимизация двигательной установки	Оптимизация двигателя и гребного винта в ненастную погоду	Газовозы	Наилучшее соответствие профиля топлива, двигателя и воздушного винта обеспечило экономическую выгоду более 5,1%
Оптимизация вспомогательных систем	Расчет структуры системы и энергетического потребления судна	Танкер-химовоз, который применим ко всем типам судов	Некоторые улучшения, такие как система рекуперации отработанного тепла, могут обеспечить около 72% потребности вспомогательной энергии в морском режиме даже в неоптимальных условиях
	Холоднокатанный металл	Балкеры и круизные лайнеры	Эксплуатационные расходы и энергопотребление балкеров снижаются до 75%. Почти полное сокращение выбросов CO ₂ на круизных лайнерах
Гибридные силовые установки	Применение гибридной аккумуляторной дизельной силовой установки для сухогрузного флота	Сухогрузы всех размеров	Установка этих систем может сэкономить топливо до 1,27 млн долл. на судно в год, а также повысить общую эффективность корабля от 2 до 10%
	Гибридная электрическая силовая установка на топливных элементах	Танкер для перевозки сырой нефти типа "Афрамекс"	Система обеспечивает сокращение выбросов CO ₂ на 9 и 16% в системах косвенного и прямого соединения соответственно
	Силовая установка на топливных элементах	Пассажирское судно внутреннего плавания FCS Alsterwasser	Реализация предложенной стратегии может дать максимальную экономию энергии 8%
Альтернативные источники топлива	Использование энергии ветра с помощью роторов Флеттнера	Танкеры и балкеры, непригодные для Ро-Рах и контейнеровозов	При использовании четырех роторов выбросы CO ₂ сокращаются на 9272 т в год, а расход топлива – на 22,28%

Тип используемой модификации	Описание метода	Тип рассматриваемого корабля	Влияние
Альтернативные источники топлива	Использование солнечной фотоэлектрической системы	Корабль Ро-Ро	Система обеспечивает до 7,76% энергопотребления судна и экономит 7,38% годового расхода топлива
	Использование водородных топливных элементов	Танкер СПГ	Оборудование покрывает 43% потребности во вспомогательной электроэнергии и сокращает выбросы CO ₂ на 2343 т в год

Все эти меры будут объяснены более подробно ниже с разделением по типу модификации, как и в случае с теми, которые использовали EEDI.

Энергоэффективность на стадии эксплуатации

Все описанные методы могут способствовать значительной экономии энергии и существенному сокращению выбросов парниковых газов и затрат на топливо, но их основным недостатком является то, что они могут применяться только на ранних стадиях строительства и проектирования судна. Для использования судов может потребоваться модернизация, что может привести к значительным затратам.

Однако на этапе эксплуатации старые суда могут сократить свои выбросы с помощью относительно простых средств, таких как замена топлива и оптимизация рейса, даже несмотря на то, что имеется ограничение на то, насколько эти меры могут оказать влияние, будучи безопасными. Эти эксплуатационные меры могут быть применены к судам любого типа без какого-либо капитального ремонта или изменения их конструкции, и исследования в этой области даже предшествовали созданию EEDI [4–7, 9] (табл. 6).

Таблица 6

Оптимизационные меры по энергоэффективности эксплуатации судов

Тип используемой модификации	Описание метода	Тип рассматриваемого корабля	Влияние
Использование пара под высоким давлением	Снижение скорости перемещения	Сухогрузы, танкеры и контейнерные суда	При снижении скорости на 5% сухогрузы и танкеры экономят топливо на 13%, а контейнерные суда – на 16–19%
	Соответствие вспомогательной системы требованиям замедления потоковой передачи	Контейнерное судно	Координация вспомогательных систем сокращает выбросы CO ₂ на 948 т в год и расход топлива на 296,2 т в год
Оптимизация маршрута	Оптимальная скорость при различных морских условиях	Круизное судно для внутреннего плавания, но специально отмечено для работы на разных судах	В идеальных случаях как расход топлива, так и выбросы могут быть снижены примерно на 28%, что позволяет сэкономить около 2961 кг на поездку
Оптимизация обрезки	Оптимальная конфигурация отделки салона	Сухогрузы	Наибольшее снижение сопротивления составило почти 14%, в зависимости от осадки и скорости

Энергоэффективность в морском секторе

Хотя действующие нормативы обеспечивают временное решение проблемы энергоэффективности, существует несколько потенциальных улучшений, которые требуют дальнейшего изучения. Несмотря на свою большую полезность, расчетный индекс энергоэффективности имеет некоторые недостатки для измерения энергоэффективности, а не уровня выбросов CO₂, а также он более специализирован для грузовых судов.

Некоторые исследования предшествовали введению в действие EEDI, и оценивались возможные последствия его использования и смены фазы на судах. Улучшение EEDI на судне повышает показатель энергоэффективности, а некоторые недостатки системы пренебрегаются в зависимости от условий и региона. Есть суда (прежде всего Ро-Ро и пассажирские суда), для которых EEDI просто не подходит, и в 2014 г. были предприняты некоторые попытки внести изменения и коррективы в способ их оценки самой ИМО. В то же время для этих судов были предложены альтернативные поправочные коэффициенты в уравнение EEDI [2–6, 8]. Для обоих типов судов линейный подход привел к более высокому (даже незначительному) коэффициенту корреляции при расчете требуемого эталона EEDI по сравнению с тем, который принят ИМО.

Кроме того, был применен новый подход к определению EEDI для Ро-Ро и пассажирских судов, а не только к поправочному коэффициенту. Документ вводит понятие «контрольная поверхность» как функцию вместимости и скорости судна вместо контрольной линии. Это расширяет расчет EEDI для различных грузов, чтобы обеспечить лучшее сравнение показателей между судами.

Также областью, для оценки которой действующий норматив плохо подходит, являются мелководные районы, поскольку стоимость судов, эксплуатирующихся в этих условиях, трудно контролировать. Несмотря на то, что на долю судоходства приходится небольшая часть общих глобальных выбросов CO₂, внутренний транспорт очень важен для отдельных стран как экономически, так и экологически, но нехватка энергии и контрольные показатели выбросов представляют собой серьезное препятствие для функционирования судов.

В связи с этим были проведены исследования, посвященные возможности сокращения выбросов CO₂ путем внедрения пересмотренной формулы EEDI, адаптированной к внутреннему водному транспорту, поскольку EEDI разработан для морских судов. В некоторых исследованиях были предложены концепции, подобные EEDI, которые используют рабочую скорость судна и мощность двигателя для оценки их эффективности, или EEDI_{INLAND}, который зарекомендовал себя как эффективный инструмент для анализа эффективности обследованных внутренних нефтяных танкеров и оценки их энергетических улучшений.

Более того, были также попытки исправить другие проблемы, когда это было возможно, и в некоторых из более поздних исследований даже предпринимались попытки найти другое, более исчерпывающее определение EEDI в целом для поощрения инновационных технологий. Предлагаемый расчет EEDI был изменен, чтобы включить несколько рабочих точек в дополнение к предлагаемому ранжированию судов на основе различных категорий энергетических характеристик.

Барьеры на пути повышения энергоэффективности

Несмотря на существование, казалось бы, экономически эффективных технических и эксплуатационных мер, судоходные компании, по-видимому, неохотно принимают их, что приводит к явлению, называемому «разрыв в энергоэффективности», которое отмечается в нескольких отраслях промышленности. Барьер для энергоэффективности определяется как любой постулируемый механизм, который препятствует инвестициям в технологии, эффективным как с энергетической, так и экономической точки зрения.

Как правило, показатели различаются в зависимости от отрасли и региона. Этот разрыв в энергоэффективности, который они создают, хорошо известен в нескольких отраслях промышленности, и в целях минимизации его воздействия на морскую отрасль разработаны

некоторые политические инструменты, в первую очередь План управления энергоэффективностью судов (SEEMP) ИМО с разной степенью успеха.

В большинстве случаев несоответствие между использованием мер и их потенциалом, по-видимому, порождает конфликт интересов. Например, на рынке фрахтования основным бенефициаром операционной экономии, связанной с низкоуглеродными технологиями (фрахтователь – сторона, которая нанимает судно), часто является не тот, кто инвестировал в такие технологии (владелец – сторона, которой принадлежит судно). Таким образом, даже если общие затраты можно уменьшить путем принятия конкретной меры, во многих случаях лицо, ответственное за финансирование указанной меры, может от этого не выиграть. Это также одна из причин того, что наиболее часто применяются оперативные меры, которые по своей оперативности сродни медленному приготовлению на пару.

Помимо разделения обязанностей в отношении использования энергии есть и другие препятствия на пути повышения энергоэффективности в судоходстве. Можно отметить некоторые ключевые области наличия энергетического разрыва. Во-первых, это организационные структуры, препятствующие обучению и инновациям. Энергоменеджмент здесь не подходит, но может потребовать новых организационных форм и новой инфраструктуры для обеспечения мониторинга производительности. Хотя оптимальное техническое и организационное решение может быть разным. Во-вторых, имеются неопределенность и асимметрия в информации, касающейся мер и их повседневной эффективности. Отсутствие надежных данных о результатах работы в договорных отношениях может препятствовать повышению эффективности в долгосрочной перспективе из-за неблагоприятного показателя финансовых затрат.

Заключение

Область энергоэффективности находится в стадии разработки для каждого типа судов, и большая часть нормативных документов направлена на сокращение выбросов. Хотя такой подход является разумным, текущие экологические проблемы также привели к некоторым осложнениям. Например, EEDI создала ситуацию, в которой суда больше внимания уделяют минимизации уровня своих индексов, а не снижению потребления топлива и энергии.

С точки зрения эффективности, это не отрицательный момент, поскольку в большинстве случаев повышение эффективности судна – сложный процесс, который необходимо тщательно спланировать, чтобы он был экономически эффективным, а это требует времени. Однако сокращение EEDI является лишь временным решением до тех пор, пока не будут приняты более постоянные меры, и сама система EEDI представляет собой некоторые слепые зоны, такие как отсутствие учета судов внутреннего плавания и неправильная оценка ро-ро и пассажирских судов, что снижают ее эффективность даже при предполагаемой цели сокращения выбросов. В этой статье показано несколько важных способов, с помощью которых можно достичь более высокой энергоэффективности путем как совершенствования всей отрасли, так и непосредственного изменения управления процессами энергоэффективности на судах с позиции их конструкции. Основные направления будущих мер по повышению энергоэффективности могут включать более широкое использование систем оцифровки для оптимизации маршрута, проходимого судами, более тесную связь и обратную связь между различными этапами жизненного цикла судна, чтобы сделать весь процесс максимально эффективным, а также усиление координации между различными методами повышения энергоэффективности для создания оптимального сочетания для корабля. Следует отметить, что, хотя в отрасли существует ряд сложностей, препятствующих полному совершенствованию и применению даже самых экономически эффективных мер, также предпринимаются постоянные усилия по разработке адекватных решений этих проблем, начиная от повышения надежности практических мер судов до изменений в том, как организована и координируется сама отрасль.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Авдеев Б.А. Интеллектуальные энергоэффективные системы морских судов // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2021. № 4. С. 99–113. DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_99
2. Валов Д.С., Валгин С.А. Системы управления судовыми энергетическими установками автономных судов // Актуальные исследования. 2023. № 5(135). С. 19–28. EDN: QGRTJJ
3. Жуков В.А., Пересецкий И.Л. Ресурсы повышения энергоэффективности судовых энергетических установок // Актуальные проблемы морской энергетики: материалы одиннадцатой международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 17–18 февраля 2022 г. Санкт-Петербург: Изд. СПб ГМТУ, 2022. С. 203–206. DOI: 10.52899/9785883036322_203_206
4. Жуков В.А., Степанов Е.А., Ерофеев В.Л. Противообледенительное устройство ледокола как средство повышения энергоэффективности судна // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2022. Т. 14, № 3. С. 430–439. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-430-439
5. Итоги 125-й сессии Совета ИМО. 28 июня–2 июля 2021 г. (дистанционная сессия). URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/C125.aspx> (дата обращения: 11.12.2022).
6. Итоги 128-й сессии Совета ИМО. 28 ноября – 02 декабря 2022 г. Международная морская организация. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/Council128th-session.aspx> (дата обращения: 11.12.2022).
7. Колесник Д.В., Егоров Г.В. Энергоэффективность судов смешанного плавания нового поколения // Морской вестник. 2012. № 4(44). С. 97–103. EDN: RBHICJ
8. Руди Д.Ю., Домке Т.Г. Актуальность проблемы повышения энергоэффективности судов морского и речного флота // Инновационное развитие современной науки: проблемы, закономерности, перспективы : сб. статей V Международной научно-практической конференции: в 3 ч., Пенза, 10 декабря 2017 г. Ч. 1. Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 124–127. EDN: YKIAWQ.
9. Чернов О.А. Типовые замечания, выявляемые при проверках государств – членов ИМО, и способы их устранения // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2023. Т. 15, № 1. С. 32–41.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2023. N 3/56

Ship Power Plants and Their Elements

www.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

DOI: <http://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/79-90>

Chernyi S., Sobolev A.

SERGEI G. CHERNYI, Head of the Department, PhD, sergiiblack@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0001-5702-3260>

Kerch State Maritime Technological University

Kerch, Russia

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

Saint Petersburg, Russia

ALEXANDER S. SOBOLEV, assistant, sobolev.alexandr1496@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0003-3453-9349>

Kerch State Maritime Technological University

Kerch, Russia

**Overview of formation processes and improving energy efficiency on ships
(regulatory and economic aspects)**

Abstract. The article provides an overview of the current state of energy efficiency in the maritime sector of individual vessels and the industry as a whole, as well as the regulatory framework of the shipping sector in

relation to energy efficiency. An analysis of the procedures used on ships to reduce energy consumption and emissions depending on design modifications and operating methods was carried out. The use of energy saving concepts in the shipping industry is examined in detail, which can be implemented on a larger scale to improve the efficiency of the maritime sector. An overview of the main obstacles to the implementation of these measures is presented. While current standards are a stopgap solution and some of the most notable improvements require further study, the proposed efforts increase the sector's potential for better optimization.

Keywords: review, analysis, energy efficiency, operating methods, energy consumption, design, ship, convention, regulatory document

For citation: Chernyi S., Sobolev A. Overview of formation processes and improving energy efficiency on ships (regulatory and economic aspects). *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2023;(3):78–89. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Avdeev B.A. Intelligent energy-efficient systems of marine vessels. *Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2021;(4):99–113. (In Russ.). DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_99
2. Valov D.S., Valgin S.A. Control systems for marine power plants of autonomous ships. *Aktual'nye issledovaniya*. 2023;(5):19–28. (In Russ.).
3. Zhukov V.A., Pereseckij I.L. Resources for improving the energy efficiency of marine power plants. In: *Aktual'nye problemy morskoy jenergetiki: Proc. 11 int. sci-techn. conf., St. Petersburg, 17–18 February 2022*. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj morskoy tehnikeskij universite, 2022. P. 203–206. (In Russ.). DOI: 10.52899/9785883036322_203_206
4. Zhukov V.A., Stepanov E.A., Erofeev V.L. Anti-icing device of an icebreaker as a means of increasing the ship energy efficiency. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 2022;14(3):430–439. (In Russ.). DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-430-439
5. Council, 128th session, 28 November-2 December 2022. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/Council,-128th-session.aspx>. – 11.12.2022.
6. Council, 125th session (C 125), 28 June-2 July (remote session). URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/C125.aspx> – 11.12.2022.
7. Kolesnik D.V., Egorov G.V. Energy efficiency of new generation mixed vessels. *Morskoy vestnik*. 2012;(4):97–103. (In Russ.). EDN: RBHICJ
8. Rudi D.Ju., Domke T.G. The urgency of the problem of energy efficiency of ships of sea and river fleet. In: *Innovacionnoe razvitie sovremennoj nauki: problemy, zakonomernosti, perspektivy: Coll. of art. V Int. sci. conf. in 3 vol.* (Penza, 10 December, 2017). Penza, Nauka i Prosveshhenie, 2017. P. 124–127. (In Russ.).
9. Chernov O.A. Typical findings issued during imo member states audits and ways to eliminate them. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*. 2023;15(1):32–41. (In Russ.).