

УДК 629.5.011; 629.5.016; 629.5.018; 629.123

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МОРСКИХ СУДОВ

Иванченко Александр Андреевич¹, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания и автоматики судовых энергетических установок

e-mail: prof_ivanchenko@mail.ru

Билоус Владислав Игоревич¹, аспирант

e-mail: strong.bilous@gmail.com

¹ Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В докладе рассматриваются существующие методы получения и обработки информации о энергоэффективности судовых дизельных установок в контексте разработки системы поддержки принятия решений. Автор проводит анализ и выявляет какие модификации можно применить к различным типам судов и как они влияют на EEDI. Обосновывает актуальность проблемы энергоэффективности. Рассматривает нормативно-правовую базу для ее регулирования. Проводит анализ возможностей повышения энергоэффективности на этапе проектирования судна и на стадии его эксплуатации. Рассматривает решения, предлагаемые EEXI. Анализируется экономическая эффективность и выгода.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, пропульсивный комплекс, энергоэффективность, система командной информации, потенциальное прогнозирование, суда класса газовоз-этановоз.

TECHNICAL ASPECTS OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF MARINE VESSELS

Ivanchenko Aleksandr Andreevich¹, Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Internal Combustion Engines and Automation of Marine Power Plants

e-mail: prof_ivanchenko@mail.ru

Bilous Vladislav Igorevich¹, Doctoral Student

e-mail: strong.bilous@gmail.com

¹ Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The report examines the existing methods of obtaining and processing information on the energy efficiency of marine diesel installations in the context of developing a decision support system. The author analyzes and identifies which modifications can be applied to different types of vessels and how they affect the EEDI. Substantiates the relevance of the problem of energy efficiency. Considers the regulatory framework for its regulation. Analyzes the possibilities of

improving energy efficiency at the design stage of the vessel and at the stage of its operation. Reviews the solutions offered by EEXI. The economic efficiency and benefits are analyzed.

Keywords: marine power plants, propulsion system, energy efficiency, command information system, potential forecasting, ships of the gas carrier-ethane carrier class.

Актуальность

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 [3].

Были проведены анализы процессов энергоэффективности в различных сферах, а также выявлены потенциальные проблемы, которые могут препятствовать отрасли в реализации большинства прибыльных мер по повышению энергоэффективности [4]. Одной из основных проблем является отсутствие комплексного нормативного акта, посвященного изучению и обеспечению соблюдения энергоэффективности, что серьезно снижает эффективность и эффект от многих регулирующих мер. Для решения этой проблемы предлагаются различные подходы, включая разработку более широких показателей, охватывающих аспекты, которые не учитываются в существующих нормативах, а также внедрение современных структур жизненного цикла на судах для реализации концепции энергопотребления.

Цель исследования в области энергоэффективности в морской отрасли включает в себя три основные задачи:

1. Национальные и международные требования к энергоэффективности на морском транспорте.
2. Анализ технических аспектов решения проблемы энергоэффективности в новом судостроении.
3. Анализ современных тенденций и инноваций в области эксплуатации морской энергетики.

Цель данной публикации заключается в создании ясного обзора текущего состояния морской отрасли и ее позиции в контексте энергоэффективности, с акцентом на вышеупомянутых аспектах.

Анализ технических аспектов решения проблемы энергоэффективности в новом судостроении

За последнее десятилетие были внесены меры по сокращению как выбросов, так и стоимости рейсов судов, где значительная часть затрат связана с ценой топлива. Одним из ключевых преимуществ модификаций конструкции судна является возможность достижения оптимальной производительности без постоянного контроля и корректировок после внедрения новых конструкций и систем автоматизации. Методы, предлагаемые для повышения энергоэффективности, могут варьироваться от альтернативных видов топлива и двигателей до модификации корпуса и внедрения систем рекуперации тепла из выхлопных газов [1].



Методы воздействия на энергоэффективность

Техническое решение	Описание	Влияние на энергоэффективность
Оптимизированный корпус судна	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установка насадки на гребной винт. 2. Статическая направляющая на гребной винт. 3. Периодическая чистка корпуса. 4. Использование вододисперсионных красок 5. Уменьшение основных размеров корабля, таких как длина и ширина 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 2-5% эк.топлива 2. 1-3% эк.топлива 3. 10-20% эк.топл. 4. 5-10% эк.топл. 5. EEDI уменьшается от 2.5 до 0.7% на вычитаемый метр
Эффективные СЭУ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Электрические двигательные установки 2. Гибридные силовые установки 3. Интеллектуальные системы управления СЭУ (комбинатор мод) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Соответствует 3 фазе EEDI 2. Соотв. 3 фазе EEDI 3. EEDI уменьшается до 6%
Эффективные системы управления энергопотреблением	1. Разработка и внедрение интегрированных систем управления энергопотреблением, которые автоматически регулируют работу двигателей, освещение, отопление и другие системы в соответствии с текущими потребностями и условиями эксплуатации.	1.5-10% эк.топлива
Применение энергосберегающих технологий	1. Использование энергосберегающих технологий, таких как системы рекуперации тепла, улучшенные термоизоляционные материалы и эффективные системы кондиционирования воздуха, может снизить общее энергопотребление судна.	1. Снижение выбросов CO ₂ до 30%
Использование возобновляемых источников энергии	1. Интеграция возобновляемых источников энергии, таких как солнечные батареи или ветрогенераторы, может помочь снизить зависимость от традиционных источников топлива и снизить выбросы парниковых газов.	1. Снижение выбросов CO ₂ до 30%. Снижение расхода топлива до 23%
Альтернативные источники топлива	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение для ГД топлива с меньшим содержанием углерода 2. Разнообразный набор альтернативных технологий таких как валогенераторы и т.д. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Снижение выбросов CO₂ до 40% 2. Снижение EEDI до 16%
Планирование рейса	1. Оптимизация маршрута, загрузки, погоды, скорости	1. Снижение расхода топлива до 20%



Анализ современных тенденций и инноваций в области эксплуатации морской энергетики

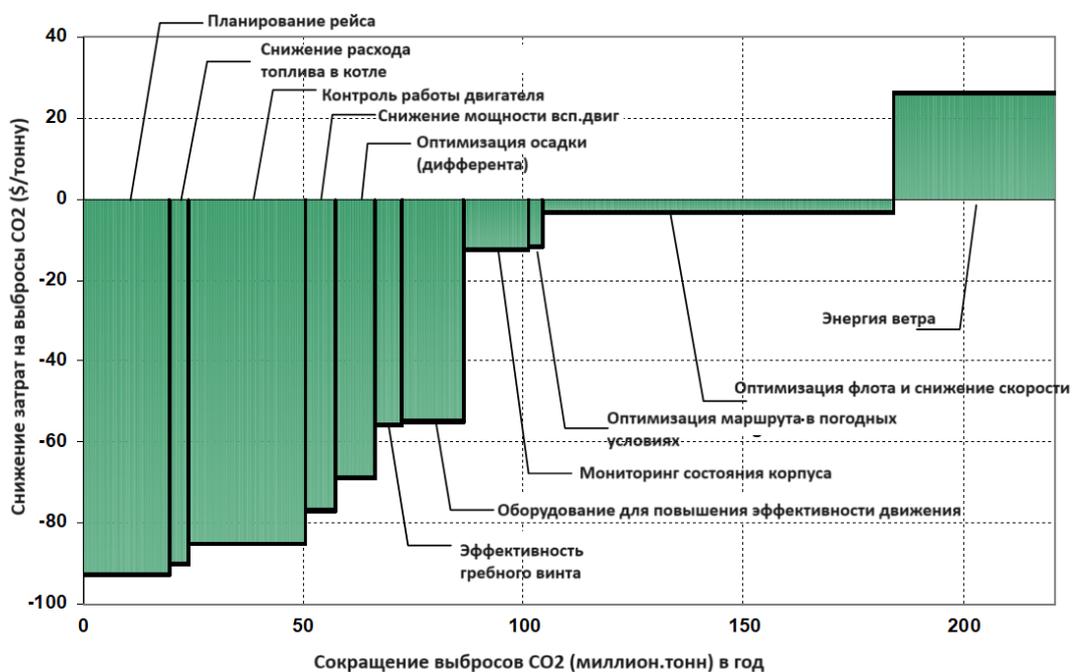


Рисунок – 1 Средние предельные затраты на снижение выбросов CO₂ в расчете на весь Мировой Флот

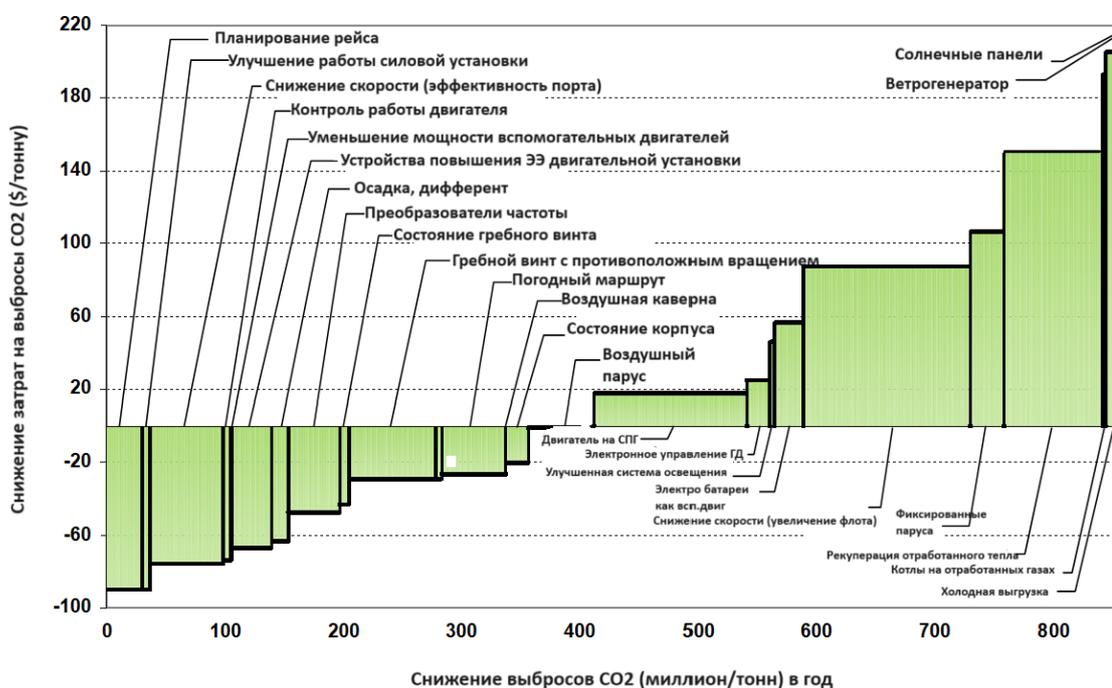


Рисунок 2 – Средние предельные затраты на снижение выбросов CO₂ в расчете на весь Мировой Флот к 2030 году

Интеграция вышеупомянутых технических решений в процесс нового судостроения предоставляет возможность существенного улучшения энергоэффективности судов. Эти

технические инновации позволяют не только снизить эксплуатационные расходы судовладельцев, но также вносят значительный вклад в сокращение негативного воздействия на окружающую среду.

Применение передовых силовых установок, оптимизированных корпусов судов, эффективных систем управления энергопотреблением, а также использование возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий способствуют общей устойчивости морского транспорта. Эти меры не только снижают расходы на топливо и уменьшают выбросы, но также соответствуют стратегии и инициативам, предпринимаемым Международной морской организацией для содействия инновациям и повышения эффективности в морском транспортном секторе.

Такие технические решения обеспечивают баланс между экономической эффективностью судовладельцев, соблюдением безопасности персонала и сохранением окружающей среды. Все эти аспекты вместе способствуют укреплению морской индустрии, содействуя созданию равных условий и обеспечивая устойчивое развитие судоходства в глобальном масштабе.

Анализ современных тенденций и инноваций в области эксплуатации морской энергетики

На 59-й сессии Комитета по защите морской среды (КЗМС) Международной морской организации (ИМО), прошедшей с 13 по 17 июля 2009 года в Лондоне, был вынесен на обсуждение вопрос об уменьшении выбросов парниковых газов. На этой сессии было принято решение заменить конструктивный индекс CO₂ на новый конструктивный коэффициент энергетической эффективности (ККЭЭ), известный как Energy Efficiency Design Index (EEDI)[4]. Также был предложен проект Временного руководства по методу расчета ККЭЭ для новых судов (MEPC.1/Circ.681) на этапе их проектирования. Кроме того, были предложены механизмы оценки ККЭЭ как проектными, так и эксплуатирующими организациями в соответствующих документах:

- Временном руководстве для добровольного удостоверения ККЭЭ (MEPC.1/Circ.682);
- Руководстве по разработке плана по управлению энергетической эффективностью судна (MEPC.1/Circ.683) – в судовом плане энергетической эффективности (Ship Energy Efficiency Management Plan – ПУЭЭС);
- Руководстве по добровольному использованию индикатора эксплуатационной эффективности (MEPC.1/Circ.684).



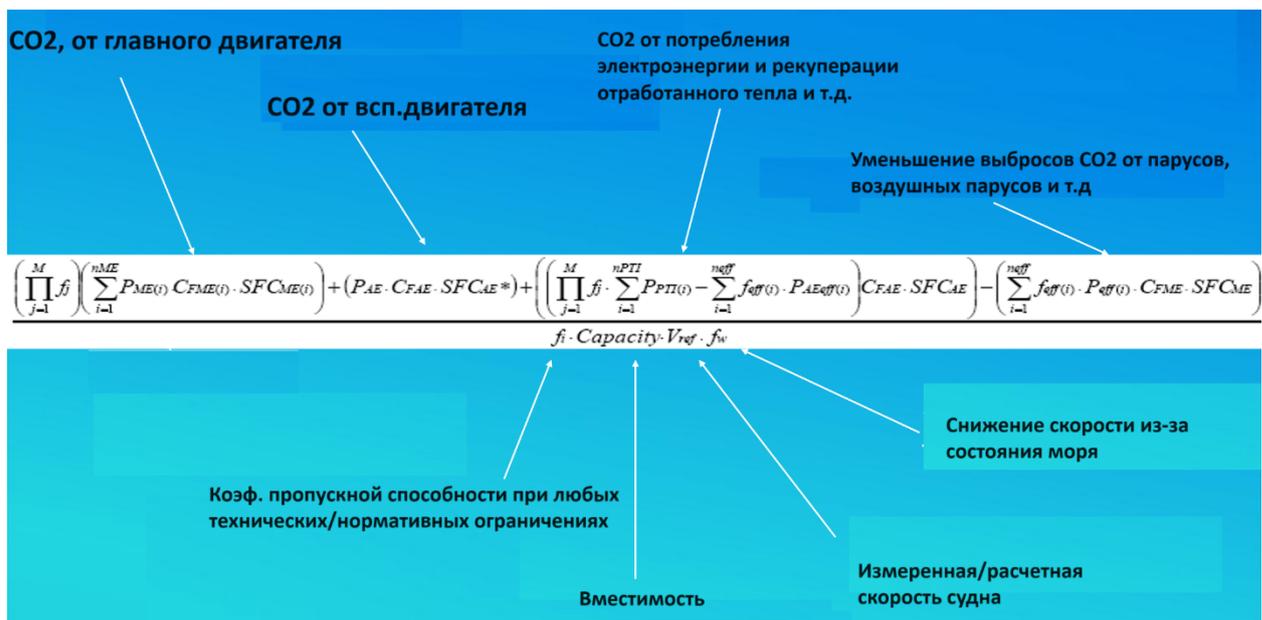


Рисунок 3 – Состав формулы EEDI согласно конвенции МЕРС 681

EEDI является:

- Важным инструментом регулирования, который уже оказывает положительное влияние на повышение эффективности судов;
- Упрощенным показателем, который легко применять при определенных допущениях EEDI не является;
- Полным показателем энергоэффективности судна и транспортировки грузов.

Проектные решения, которые минимизируют EEDI, могут оказаться недостаточными для максимизации общей операционной эффективности и рентабельности инвестиций. Некоторые показатели эффективности, которые не измеряются с помощью EEDI, могут быть непреднамеренно принесены в жертву в погоне за наименьшим EEDI. Владелец должен соответствовать требованиям EEDI, а затем провести дальнейшую оптимизацию с учетом наилучших принципов проектирования и эксплуатационных реалий.

Достигнутый EEDI должен быть меньше требуемого. Требуемый EEDI рассчитывается по формуле:

$$EEDI = 1 - \frac{X}{100} \text{ (рефернсная линия)} \quad (1)$$

Рефернсная линия = $(a) * (b)^{-c}$, где

Тип судна	a	b	c
Танкер	1218.80	Дедвейт судна	0.488
Газовоз	1120.00	Дедвейт судна	0.456
Контейнеровоз	174.22	Дедвейт судна	0.201

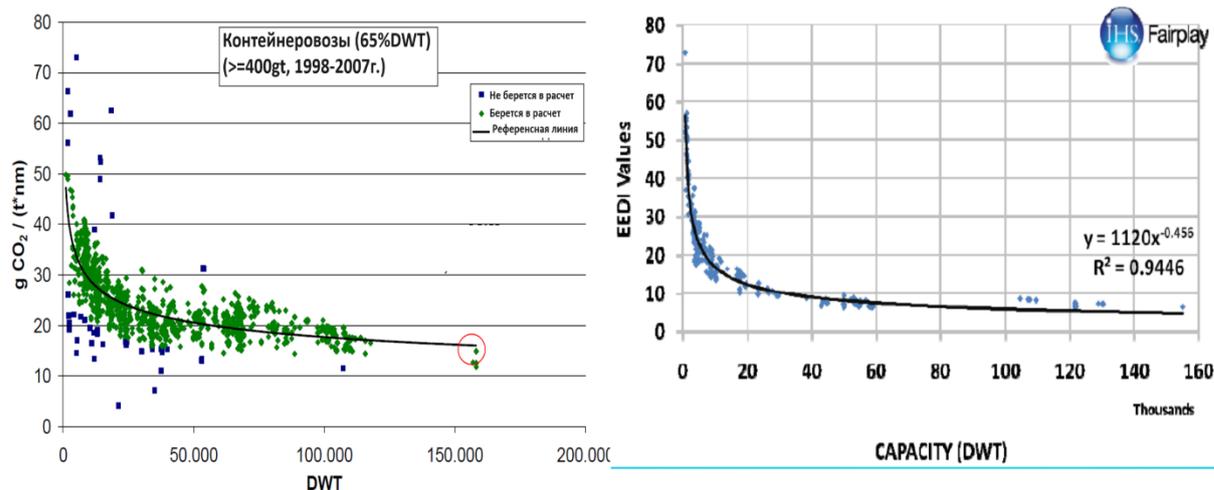


Рисунок 4 – Статистика значений EEDI контейнеровозов и газовозов относительно референсной линии

Большинство текущих судов имеют высокий потенциал достижения стандарта EEDI 2013 года благодаря использованию передовых конструкций корпуса без необходимости в особых мерах. Для принятия обоснованных проектных решений, направленных на максимальную эффективность, необходимо полное понимание влияния вариантов дизайна на показатели EEDI, а также на общую эффективность и экономическую выгоду. В этом контексте проводилось исследование чувствительности параметров дизайна по отношению к EEDI. Проведены исследования для более глубокого понимания:

- Скорость судна;
- Коэффициент блочности.

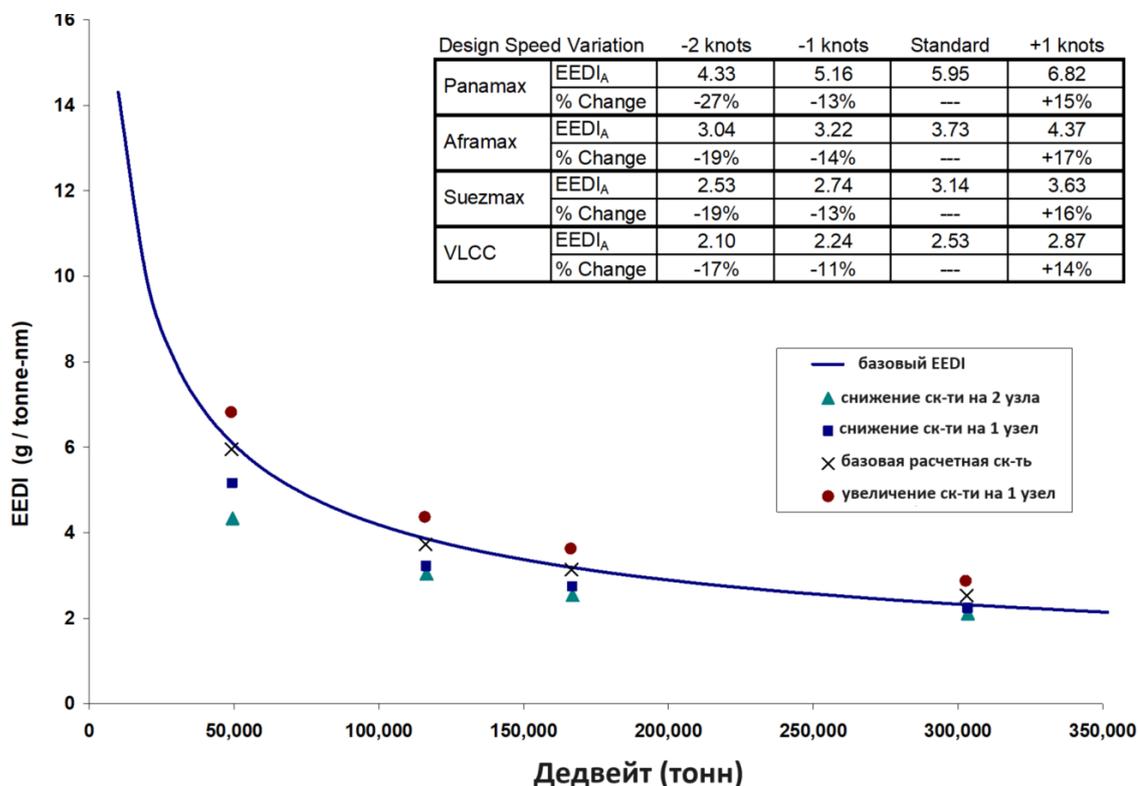


Рисунок 5 – График значений EEDI в зависимости от расчетной скорости и дедвейта

Скорость существенно влияет на EEDI – двигатели/мощность регулируются в соответствии с новой проектной скоростью. Однако коэффициент блочности не изменяется.

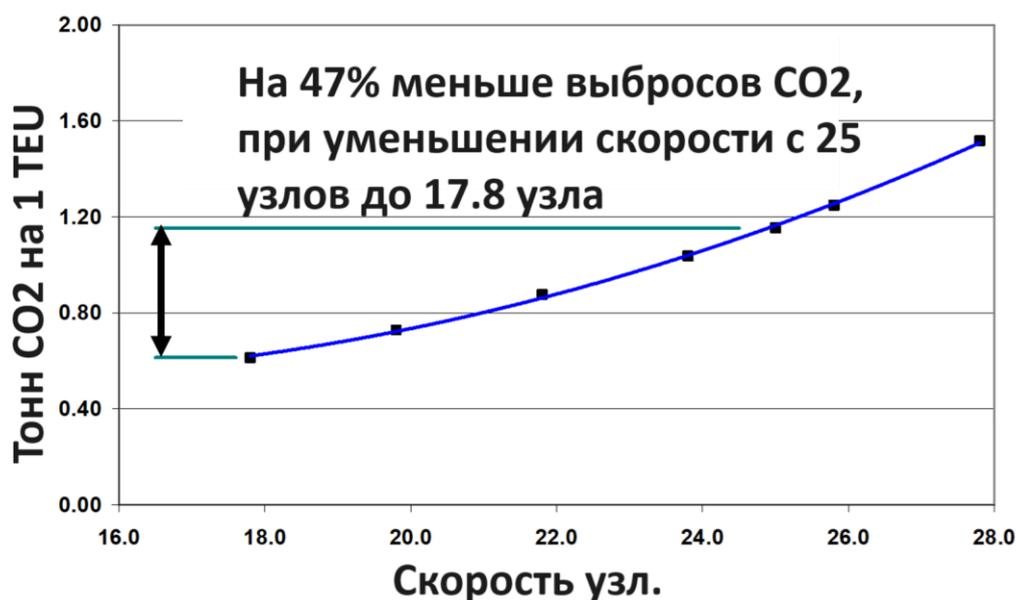


Рисунок 6 – Зависимость выбросов CO₂ от скорости судна

Общие выбросы CO₂ были рассчитаны для типичного кругового рейса между западным побережьем США и Китаем. Судно с проектной скоростью 17,8 узлов имеет примерно вдвое меньшие выбросы CO₂ по сравнению с судном с проектной скоростью 25,0 узлов.

Заключение

1. 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.

2. Объективная оценка уровня выбросов парниковых газов с судов различного типа и назначения определяется путем учета различного рода факторов и введения поправочных коэффициентов, а также оценки влияния отдельных конструктивных параметров на величину EEDI.

3. В настоящее время сформировались особенности и методы аналитической оценки и расчета EEDI для различных типов судов.

4. Большинство типов и размеров судов могут соответствовать базовым требованиям EEDI благодаря правильно оптимизированной форме корпуса.

5. EEDI очень чувствителен к скорости судна, но стремление к минимальной скорости может не привести к созданию конкурентоспособного судна. Оптимальная проектная скорость по-прежнему должна определяться ожидаемыми расходами на топливо и операционной прибылью.

6. Изменения базовых размеров оказывают незначительное влияние на общую эффективность, но наблюдается тенденция к немного более длинным судам с более низким коэффициентом блочности.

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 судна.

Список литературы:

1. Иванченко А.А. Подходы к совершенствованию судовых энергетических установок // Эксплуатация морского транспорта. – 2023. – № 3 (108). – С. 121 – 138.
2. Иванченко А.А. Проблемы прогнозирования эксплуатационных показателей энергетических установок судов класса: «Афрамакс» на этапах их проектирования / А.А. Иванченко, Г.А. Конев // Актуальные проблемы морской энергетики: Материалы одиннадцатой международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 17–18 февраля 2022 года. – Санкт-Петербург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», 2022. – С. 211 – 217.
3. 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.
4. Иванченко А.А., Петров А.П. Живлюк Г.Е. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов. Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макаров. Вып. 2, 2015 г., с. 103 – 112.
5. International Maritime Organization MEPC.335(76) // IMO. – URL: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.335\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.335(76).pdf) (дата обращения: 20.02.2024)
6. International Maritime Organization EEDI // IMO. – URL: <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEDI.aspx> (дата обращения: 20.02.2024)

