

12. Хахулин Г. Ф. Основы моделирования АСУ / Г. Ф. Хахулин, Е. А. Сокурено. — М.: Изд-во МАИ, 1990. — 60 с.

13. Безюков О. К. Совершенствование конструкции систем охлаждения судовых двигателей / О. К. Безюков, В. А. Жуков, М. А. Тарасов // Развитие транспорта в регионах России: проблемы и перспективы: материалы Всерос. науч.-практ. конф. — Киров, 2007. — С. 67–70.

14. Пат. 2459093 РФ МПК F01P 5/10. Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания / О. К. Безюков, В. А. Жуков; Опубл. 20.08.2012. Бюл. № 23. — 7 с.

15. Жуков В. А. Выбор параметров газотурбинного наддува конверсионного двигателя / В. А. Жуков, М. С. Курин; под общ. ред. О. К. Безюкова // Тр. Междунар. науч.-техн. семинара «Исследование, проектирование и эксплуатация судовых ДВС». — СПб.: Изд-во «ПаркКом», 2006. — С. 66–71.

16. Жуков В. А. Модернизация системы газотурбинного наддува конвертированного дизеля / В. А. Жуков, М. С. Курин // Вестник машиностроения. — 2007. — № 3. — С. 17–19.

17. Безюков О. К. Теплоносители систем охлаждения транспортных ДВС и способы обеспечения их эксплуатационных свойств / О. К. Безюков, В. А. Жуков, О. В. Жукова // Инженерный журнал. — 2009. — № 9. — С. 51–54.

18. Безюков О. К. Математическая модель старения охлаждающих жидкостей судовых дизелей / О. К. Безюков, В. А. Жуков, О. В. Жукова // Журнал университета водных коммуникаций. — 2009. — № 2. — С. 76–83.

19. Жуков В. А. Контроль качества теплоносителей жидкостных систем охлаждения / В. А. Жуков // Контроль. Диагностика. — 2011. — № 9. — С. 66–72.

20. Пат. 2453714 РФ МПК F01P 5/10 Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания / В. А. Жуков; Опубл. 20.06.2012. Бюл. № 17. — 7 с.

УДК 629.5.03: 632.151

А. А. Иванченко,
д-р техн. наук, проф.;

А. П. Петров,
канд. техн. наук, доц.;

Г. Е. Живлюк,
канд. техн. наук

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУДОВ И РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

ENERGY EFFICIENCY OF SHIPS AND REGULATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Проанализировано нормирование выбросов вредных веществ энергетическими установками речных и морских судов, включая парниковые газы (выбросы диоксида углерода), с целью предотвращения загрязнения окружающей среды, являющееся одной из главных задач международных и национальных организаций. Сейчас уже широко известно, что в поисках критерия оценки совершенства судна пришли к оценке энергетической эффективности строящихся судов по конструктивному коэффициенту CO_2 , который определяется в выбросах диоксида углерода на тонно-милю перемещения грузов. Рассмотрены вопросы формирования понятия «конструктивный коэффициент энергетической эффективности судна – ККЭЭ». Методы его аналитической оценки и расчета для различных типов судов существенно отличаются. С учетом этого обстоятельства рассмотрены особенности оценки уровня выбросов парниковых газов с судов. В значительной степени это касается накатных судов и газозовов. Отмечено влияние отдельных конструктивных факторов на величину ККЭЭ.

Analyzed the regulation of emissions of harmful substances power plants river and sea vessels in the part of greenhouse gases (carbon dioxide emissions) in order prevented, of environmental pollution, which is one of the main objectives of the international and national organizations. It is now widely known that in the search for excellence criterion for evaluating the ship came to the assessment of the energy efficiency of vessels under construction for a constructive factor of CO₂, which is defined in the emissions of carbon dioxide per ton-mile of freight movement. The problems of formation of the concept of “Energy Efficiency Design Index – EEDI” were considered. Methods of analytical evaluation and calculation for different types of ships differ significantly. With this in mind the peculiarities of assessing the level of greenhouse gas emissions from ships. To a large extent, it concerns the rolling of ships and LNG carriers. The influence of certain structural factors on the EEDI.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов, энергоэффективность судна, защита морской среды.

Key words: greenhouse gas emissions, energy efficiency of the vessel, the protection of the marine environment.

ИСТОРИЯ вопроса о выбросах парниковых газов, в частности диоксида углерода CO₂, с судов морского транспорта и связанных с ними последствиях насчитывает более 15 лет. В сентябре 1997 г. на Международной конференции сторон Международной конференции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ-73/78) была принята Резолюция 8 по вопросу выбросов углекислого газа с судов. Следуя указаниям данной резолюции, Международная морская организация (*International maritime organization – ИМО*, далее ИМО) приняла в декабре 2003 г. Резолюцию А.963(23) «Политика и практика ИМО, относящаяся к сокращению выбросов парниковых газов с судов». В этом документе отмечается, что сокращение таких выбросов может осуществляться посредством принятия технических и эксплуатационных мер. Здесь же указывается о необходимости разработки методологии описания эффективности судна с точки зрения выбросов парниковых газов с учетом того, что углекислый газ является основным парниковым газом, выбрасываемым с судов. (Следует отметить, что основными парниковыми газами, в порядке значимости их воздействия на тепловой баланс Земли, являются углекислый газ, метан и озон). Также в документе указывается о необходимости разработки руководства для применения на практике системы индексации выбросов парниковых газов.

Согласно результатам исследований, проведенных по поручению ИМО [1], общие выбросы CO₂ от судоходства составили в 2009 г. примерно 1 млрд т, что соответствовало примерно 3,3 % совокупных выбросов CO₂ в результате сжигания топлива. К 2020 г. выбросы от судоходства увеличатся, по прогнозам, более чем на 30 %, до 1,47 млрд т [2]. По данным [3], доля выбросов парниковых газов от международного судоходства в 2003 г. составила примерно 1,8 % от мировых выбросов CO₂. По данным на 2007 г., доля выбросов парниковых газов от международного судоходства составила примерно 2,7 % от мировых выбросов CO₂.

Энергоэффективность судна характеризует энергетические возможности технического средства при наименьших затратах ресурсов для выработки энергии. В ряде случаев, оценка энергоэффективности производится с учетом установленного на судне оборудования, пренебрегая возможностями применения инновационных технологий в энергетике, интегрированным подходом к подсчету тех возможностей повышения энергоэффективности, которые не очевидны, но присутствуют при проектировании судна. В простейшем случае оценка энергоэффективности производится по комплексному показателю качества СЭУ, исходя из ее расходных и ресурсных показателей.

В то же время, в современном двигателестроении и судостроении не только декларируется, но и происходит переход от частных случаев повышения КПД агрегата к комплексной интегральной оценке всех аспектов влияния на энергетические показатели судна. Повышение эффективности и экологической безопасности проекта были изучены на фоне необходимости удовлетворения требований ИМО, вступивших в силу в 2013 г. Исследования показали, что потенциал для экономии энергии велик, в некоторых случаях он достигает 50 % [4]. В связи с возникшей потребностью введения показателя, свидетельствующего об эффективности судна в отношении топливной

экономичности и выбросов парниковых газов, предлагалось ввести конструктивный индекс CO₂, а также индикатор эксплуатационной эффективности, который определяет эффективность судна по количеству CO₂ в тоннах, выброшенного отдельной установкой за период рейса судна на тонну перевезенного груза на расстоянии в 1 милю.

Ввиду существенных различий конструктивных и энергетических особенностей технических показателей судов, назрел вопрос определения предельной величины конструктивного индекса CO₂ эксплуатируемых судов и судов новой постройки. В дальнейшем оценка эксплуатируемых судов свелась к оценке профицита или дефицита энергоэффективности, а для новых судов предстояло оценить горизонты снижения выбросов парниковых газов.

В апреле 2008 г. на 57-й сессии Marine Environment Protection Committee (MEPC – Комитет по защите морской среды (КЗМС) была определена основная цель технических мер, состоящая в улучшении энергетической эффективности строящихся судов путем внедрения требований по конструктивному индексу CO₂. Впервые в Японии в документе (MEPC 57/4/12) была представлена расчетная формула для определения величины конструктивного индекса CO₂, который имеет размерность г·CO₂/т-миля:

$$\text{Attained design CO}_2 \text{ index} = \frac{C_f \cdot SFC \cdot P}{\text{Capacity} \cdot V_{ref}},$$

где P – номинальная мощность главного двигателя, кВт; SFC – удельный эффективный расход топлива этого двигателя, г/кВт ч; C_f – безразмерный переводной коэффициент, г CO₂/г топлива, определенный по содержанию углерода в конкретном топливе. В знаменателе формулы – произведение величины вместимости судна $Capacity$ в т (в качестве вместимости предполагалось принимать дедвейт) и максимальной скорости судна V_{ref} , миль/ч.

На 59-й сессии КЗМС, которая проходила с 13 по 17 июля 2009 г. в штаб-квартире ИМО в Лондоне, одним из наиболее значимых вопросов повестки дня был вопрос об ограничении выбросов парниковых газов. На этой сессии комитет одобрил введение вместо конструктивного индекса CO₂ нового конструктивного коэффициента энергетической эффективности (ККЭЭ) – (*Energy Efficiency Design Index – EEDI*), а также проект Временного руководства по методу расчета ККЭЭ для новых судов (MEPC.1/Circ.681) при их проектировании. Кроме того, были предложены механизмы реализации проектными и эксплуатирующими организациями оценки ККЭЭ в следующих 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).

Изменение названия основного показателя энергетической эффективности судна связано с введением в его расчетную формулу новых параметров, в том числе показателя применения технологий использования энергии отходящего тепла.

Коэффициент ККЭЭ сочетает в оценке энергоэффективности судов выбросы вредных веществ и объемы перевозок (г CO₂/т-миля), которая оценивается по формуле (1) в виде

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j\right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{MEi} C_{FMEi} SFC_{MEi}\right) + P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*}{f_i \cdot \text{Capacity} \cdot V_{ref} \cdot f_W} + \frac{\left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(0)} - \sum_{i=1}^{nWHR} P_{WHRi}\right) C_{FAE} SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff} P_{eff} C_{eff} SFC_{MEi}\right)}{f_i \cdot \text{Capacity} \cdot V_{ref} \cdot f_W}, \quad (1)$$

где V_{ref} – скорость судна; $Capacity$ – водоизмещение судна; f_p, f_j, f_W – факторы, учитывающие влияние водоизмещения, особенностей конструкции и условий волнения и ветра соответственно; P_{MEi} – рас-

четная мощность главного двигателя, равная 75 % от его номинальной мощности за вычетом мощности, потребляемой валогенератором (в случае его наличия); P_{AE} – расчетная мощность вспомогательных двигателей; $P_{PT(0)}$ – мощность, равная 75 % от номинальной мощности, потребляемой каждым гребным электромотором без учета механических потерь. (Этот показатель должен учитываться тогда, когда имеет место гибридная пропульсивная установка с комбинированным приводом на винт); P_{WHR} – электрическая мощность в результате утилизации тепла главных двигателей; SFC_{AE} – удельный эффективный расход топлива главными и вспомогательными двигателями; C_{FMEi} , C_{FAEi} – выбросы CO_2 главными и вспомогательными двигателями; f_{eff} – коэффициент эффективности инновационных технологий получения энергии; P_{eff} – мощность, развиваемая в результате применения инновационных технологий получения энергии; C_{eff} – выбросы CO_2 в результате применения инновационных технологий получения энергии.

SFC_{ME} – удельный эффективный расход топлива, определяемый на основе универсальных характеристик. Типы и параметры главных двигателей были получены из базы данных Регистра Ллойда (Lloyds Register IHS Fairplay (LRFP) – база данных Регистра Ллойда (БДРЛ)) в соответствии с Международным стандартом ИСО 3046-1 с учетом допуска +5 %.

$P_{PT(0)}$ – мощность, рассчитываемая исходя из предположения и регрессионного анализа данных. В случае, если судно оборудовано винтом регулируемого шага (ВРШ), предполагается, что существует устройство для передачи механической мощности от главного двигателя к ВРШ, подключенное к линии вала или редуктора. Параметры устройства были приняты по оценкам на основе конкретных данных, зависящих от типа судна в виде регрессионных кривых. Если судно оборудовано винтом фиксированного шага, предполагается, что этого устройства не существует.

Поправочный коэффициент мощности f_i является коэффициентом использования установленной мощности при любых нормативных ограничениях по мощности и принимается равным 1,0. Для судов ледового класса он определяется в соответствии с данными табл. 1.

Таблица 1

Поправочный коэффициент мощности f_i для судов ледового класса

Тип судна	f_i	Limits depending on the ice class – Ограничения в зависимости от ледового класса судна			
		IC	IB	IA	IA Super
Танкер	$\frac{0,00115L_{PP}^{3,36}}{capacity}$	$\begin{cases} \max 1,33L_{PP}^{-0,07} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,54L_{PP}^{-0,07} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,80L_{PP}^{-0,09} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,11} \\ \min 1,0 \end{cases}$
Сухогрузное судно	$\frac{0,000665L_{PP}^{3,44}}{capacity}$	$\begin{cases} \max 1,33L_{PP}^{-0,05} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,33L_{PP}^{-0,07} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,80L_{PP}^{-0,09} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,11} \\ \min 1,0 \end{cases}$
Перевозчик генерального груза	$\frac{0,000676L_{PP}^{3,44}}{capacity}$	1,0	$\begin{cases} \max 1,08 \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,12 \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,25 \\ \min 1,0 \end{cases}$
Контейнеровоз	$\frac{0,1749L_{PP}^{2,29}}{capacity}$	1,0	$\begin{cases} \max 1,25L_{PP}^{-0,04} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,60L_{PP}^{-0,08} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,12} \\ \min 1,0 \end{cases}$
Газовоз	$\frac{0,1749L_{PP}^{2,33}}{capacity}$	$\begin{cases} \max 1,25L_{PP}^{-0,04} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 1,60L_{PP}^{-0,08} \\ \min 1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} \max 2,10L_{PP}^{-0,12} \\ \min 1,0 \end{cases}$	1,0

Одним из отличий формулы (1) является введение показателя требуемой мощности вспомогательных двигателей для обеспечения электроэнергией при максимальной загрузке судна – P_{AE} .

Этот показатель является функцией от установленной мощности MCR главного двигателя для двух случаев:

$$MCR > 10000 \text{ кВт}, P_{AE} = 2,5 \% MCR + 250;$$

$$MCR < 10000 \text{ кВт}, P_{AE} = 5 \% MCR.$$

Если полученное таким образом значение P_{AE} будет существенно отличаться от полной мощности вспомогательных двигателей, необходимой для нормальной эксплуатации судна, то этот показатель должен быть принят на основании таблицы нагрузок судовой электростанции.

C_F соответствует топливу, используемому при определении SFC , указанному в соответствующем сертификате EIAPP (Ship Energy Efficiency Operational Indicator – операционный показатель энергоэффективности). Значение C_F определяется в табл. 2.

Таблица 2

Определение C_F

Тип топлива	Ссылка	Содержание углерода	C_F г·CO ₂ /т топлива
1. Дизельное/ Газойль	ИСО 8217	0,875	3,206000
2. Легкое жидкое топливо (ЛЖТ)	ИСО 8217	0,86	3,151040
3. Тяжелое жидкое топливо (ТЖТ)	ИСО 8217	0,85	3,114400
4. Сжиженный нефтяной газ (СНГ)	Пропан	0,819	3,000000
	Бутан	0,827	3,030000
5. Сжиженный природный газ (СПГ)		0,75	2,750000
6. Метанол*		0,3750	1,375
7. Этанол*		0,5217	1,913

*Типы топлива, введенные Резолюцией МЕРС.245 (66).

КЗМС были определены следующие основные направления деятельности в области сокращения выбросов парниковых газов:

- ежегодная инвентаризация выбросов CO₂;
- анализ перспектив в области сокращения выбросов от судоходства;
- анализ технических и эксплуатационных мер по сокращению выбросов;
- анализ стратегических направлений по сокращению выбросов и план дальнейших действий;
- исследование влияния выбросов CO₂ от судоходства на глобальное потепление;
- сравнение энергетической эффективности судов и интенсивности выбросов CO₂ в зависимости от типа судов.

Круг рассматриваемых проблем группы КЗМС, одобренный на 60-й сессии МЕРС, проведенной 22 – 26 марта 2010 г., включал следующие вопросы:

- разработка необходимых руководств и методик расчета конструктивного коэффициента энергоэффективности (ККЭЭ) и базовой линии ККЭЭ;
- рассмотрение проекта инструмента ИМО по сокращению выбросов парниковых газов и повышению энергоэффективности судов;
- оценка применимости ККЭЭ для различных типов и размеров судов.
- оценка влияния повышения энергоэффективности судов на их безопасность.
- подготовка отчета для 61-й сессии МЕРС.

Группой были рассмотрены и подготовлены рекомендации МЕРС по корректировке уравнений расчета ККЭЭ, приведенных в циркулярах ИМО МЕРС.1/Circ.681 и МЕРС.1/Circ.682. Было

принято предложение проводить расчеты ККЭЭ для судов, перевозящих колесную технику с применением значений дедвейта судна, равных 65 %. Участники группы согласились с предложением ужесточить требования к энергоэффективности судов после вступления в силу соответствующего инструмента ИМО для поэтапного снижения выбросов парниковых газов в атмосферу.

Во Временном руководстве по методам расчета ККЭЭ была принята формула для расчета ККЭЭ в г-СО₂ / на тонну перевезенного груза на 1 милю, в которую в дальнейшем могут быть внесены поправки при рассмотрении окончательной редакции этого документа:

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j\right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{MEi} \cdot C_{FMEi} \cdot SFC_{MEi}\right) + P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w} + \frac{\prod_{j=1}^M f_j \left(\left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(0)} - \sum_{i=1}^{nWHR} P_{WHRi}\right) C_{FAE} SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff} P_{eff} C_{eff} SFC_{MEi}\right)\right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w} \quad (2)$$

Отличие формулы (1) от формулы (2), принятой на 58-й сессии КЗМС, заключается в следующем [5]:

- введение корректирующего фактора f_j , учитывающего специфическую конструкцию элементов судна, перед показателем P_{PTI} , учитывающим мощность, потребляемую каждым гребным электромотором при гибридной пропульсивной установке. f_j для ледового класса судов определяется стандартным f_j , приведенным в табл. 3, для других типов судов f_j следует принимать равным 1,0;

- замена показателя сокращения электрической энергии за счет использования отходящего тепла P_{WHR} показателем снижения мощности вспомогательных двигателей за счет применения эффективных инновационных технологий по использованию отходящего тепла из главного двигателя P_{AEeff} умноженным на коэффициент доступности инновационных технологий f_{eff}

Анализ значений ККЭЭ, расчет которых был выполнен рядом стран для различных типов и размеров судов, показал, что приведенные в руководстве ИМО уравнения расчета базовой линии ККЭЭ применимы с достаточной надежностью к сухогрузам и контейнеровозам дедвейтом более 5000 т, к танкерам, газовозам и рефрижераторным судам дедвейтом более 2000 т, а также к судам Ro-Ro дедвейтом более 15000 т.

Группой были подготовлены для рассмотрения на 61-й сессии МЕРС, проведение которой было запланировано на октябрь 2010 г., проекты следующих руководств:

- расчет базовой линии для расчетного ККЭЭ;
- учет электрических нагрузок при расчете ККЭЭ;
- подтверждение расчетного ККЭЭ нового судна.

В то же время на состоявшейся 5 октября 2009 г. в Гамбурге Второй Международной конференции «Ship efficiency» была поставлена под сомнение эффективность внедрения ККЭЭ для снижения выброса парниковых газов.

Таблица 3

Поправочный коэффициент мощности f_j для судов ледового класса

Тип судна	f_i	Ограничения в зависимости от ледового класса судна			
		IC	IB	IA	IA Super
Танкер	$\frac{0,516L_{PP}^{1,87}}{capacity}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,72L_{PP}^{0,06} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,61L_{PP}^{0,08} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,50L_{PP}^{0,10} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,40L_{PP}^{0,12} \end{array} \right.$
Сухогрузное судно	$\left\{ \begin{array}{l} 2,15L_{PP}^{1,58} \\ capacity \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,89L_{PP}^{0,02} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,78L_{PP}^{0,04} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,68L_{PP}^{0,06} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,58L_{PP}^{0,08} \end{array} \right.$
Перевозчик генерального груза	$\frac{0,0450L_{PP}^{2,37}}{capacity}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,85L_{PP}^{0,03} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,70L_{PP}^{0,06} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,54L_{PP}^{0,10} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{макс} 1,0 \\ \text{мин} 0,39L_{PP}^{0,15} \end{array} \right.$

В частности, на основании расчетов, выполненных самостоятельно [6] и по инициативе European Maritime Safety Agency (EMSA – Европейское агентство морской безопасности) [7], возникли предположения о том, что развернутая в настоящее время деятельность ИМО, предполагающая внедрение ККЭЭ, только увеличит выбросы CO₂ с судов, поскольку коэффициент имеет серьезные недостатки, способные затормозить технический прогресс путем значительного ограничения возможностей оптимизации при проектировании судна. EMSA напомнило также о том, что эмиссия CO₂ пропорциональна расходу топлива, предложив решать проблему путем корректировки цен на топливо, а не введением ККЭЭ.

Фирмой «Deltamarin Ltd» (Дания) по поручению КЗМС были выполнены поверочные исследования [8] применимости ККЭЭ для судов различного типа, участники которых исходили из того, что основной целью внедрения ККЭЭ является сокращение глобальных выбросов CO₂, не создавая препятствие конкуренции или не ограничивая торговые отношения. Поскольку ККЭЭ распространяется и на суда, совершающие короткие перевозки, особенно типа Ro-Ro и Ro-Pax, существует риск воздействия основных конструктивных параметров этих типов судов на ККЭЭ таким образом, что будущие проекты судов будет крайне сложно или даже невозможно завершить. Перед предстоящими исследованиями ставились следующие задачи, позволяющие выяснить, какие изменения или корректировки необходимо внести для широкого применения методологии ККЭЭ.

1. Уточнение формулы ККЭЭ для Ro-Ro и Ro-Pax судов:

- определить возможные коррекции факторов, включаемых в формулу (1);
- оценить текущий базовый подход и различные представленные материалы ИМО о принципах расчета базовой линии и ККЭЭ;
- уточнить или скорректировать базовые ККЭЭ.

В случае необходимости проведение оценки, разработка методологии и альтернативного подхода к потенциалу сокращения выбросов CO₂.

2. Разработка методологии для решения проблем энергоэффективности с целью разрешения строительства новых судов:

- определить возможные суда, не подпадающие в настоящее время под требуемые ККЭЭ;
- определить корректирующие факторы и исходные данные, позволяющие включить конкретные типы судов в сферу применимости ККЭЭ;
- разработать альтернативный способ повышения энергетической эффективности на этапе проектирования для специально построенных судов.

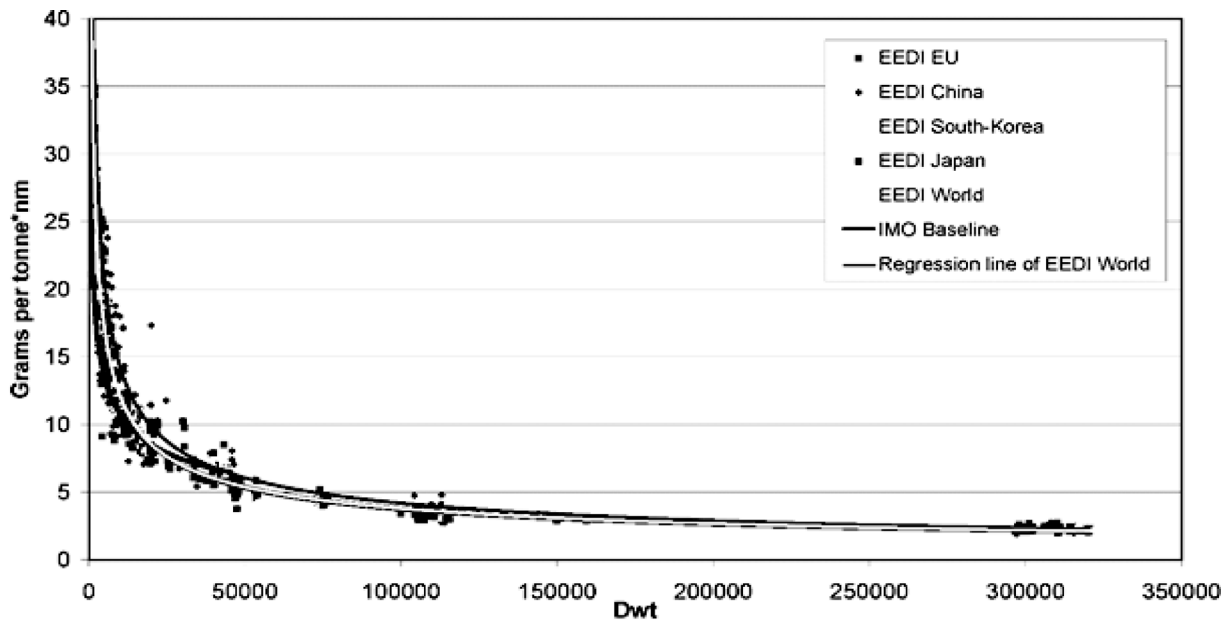
Оценке подверглись суда следующих типов: танкеры, перевалочные суда, сухогрузные суда, контейнеровозы, перевозчики генерального груза, газовозы, пассажирские суда, накатные пассажирские суда, накатные суда для перевозки транспорта, накатные суда с дедвейтом в виде линейного метра менее 4 т/м, накатные суда с дедвейтом в виде линейного метра, равного или более 4 т/м.

В табл. 4 и на рисунке приведены примеры расчета и построения базовой линии для танкеров, включая данные выборки судов по регионам мира, их количество, средние значения дедвейта, длительной мощности ИСО, скорости движения и ККЭЭ [8].

Таблица 4

Танкеры

Параметры	Европа	Китай	Южная Корея	Япония	В целом
Объем выборки, шт.	53	445	826	401	1725
Средний дедвейт, т	20783,98	57779,20	74099,74	66675,50	66525,54
Средняя длительная мощность, кВт	5968,34	7826,42	10048,46	8785,33	9056,25
Средняя скорость, мм/ч-узлы	14,31	13,59	14,75	14,58	14,40
Средний ККЭЭ, г/т мм	9,99	9,986	6,56	8,848	8,08
Среднее отклонение от базовой линии	-3,06	-1,55	-0,79	-1,60	-1,24



Расчет ККЭЭ для танкеров

Выполненные расчеты показали, что корреляция вполне пригодна для всех типов судов, за исключением газовозов до 20 000 DWT и накатных судов для перевозки транспорта свыше 10 000 DWT. В настоящем виде ККЭЭ непригоден для регулирования энергетической эффективности газовозов и для накатных судов для перевозки транспорта.

В Резолюции МЕРС.231(65) [7] КЗМС принял проект постановления о внесении изменений в правила расчета базовых линий для использования ККЭЭ. С целью расширения его применения для газовозов и различных типов Ro-Ro были приняты следующие решения:

- утвердить Руководство для расчета базовых линий и использования ККЭЭ так, как это изложено в приложении к резолюции;
- признать необходимость дальнейшего пересмотра этого Руководства с учетом накопленного опыта;
- отменить данное Руководство для расчета базовых линий и использования ККЭЭ, принятое Резолюцией МЕРС.215(63).

КЗМС согласовал следующие новые документы: «Руководящие принципы для расчета базовых линий для использования с ККЭЭ», содержащиеся в прил. VI к МАРПОЛ, гл. 4. Согласованные изменения в регламенте включают дополнительно два типа судов для обязательного применения ККЭЭ: накатные и пассажирские суда, кроме ранее согласованных: сухогрузов, газовозов, танкеров, контейнеровозов, перевозчиков генерального груза, рефрижераторных судов, накатных судов и перевозчиков СПГ. Здесь же вводится корректирующий коэффициент при расчете достигнутого ККЭЭ для судов – перевозчиков генеральных грузов.

Данный метод расчета базовых линий не распространяется на пассажирские суда, кроме пассажирских круизных судов, имеющих нетрадиционные способы движения.

КЗМС в Резолюции МЕРС.245 (66) [9] принял проект постановления об уточнении правил расчета базовых линий ККЭЭ и отмене Руководства 2012 г. по методу вычисления фактического ККЭЭ для новых судов (Резолюция МЕРС.212(63) с поправками, внесенными Резолюцией МЕРС.224(64).

Источником базы данных для расчета базовой линии ККЭЭ является база данных, выбираемая в качестве стандартной и заархивированная по согласованию между Секретариатом КЗМС и БДРЛ.

Для расчета базовых линий используются следующие исходные данные:

- параметр *Capacity* для каждого типа судна согласно МЕРС.212 (63);
- расчетная скорость судна V_{ref} ;
- мощность главных двигателей MCR_{ME}
 (для некоторых судов отдельные записи в базе данных могут быть нулевыми);
- выбросы CO_2 главными и вспомогательными двигателями: $C_{F,ME} = C_{F,AE} = C_F = 3,1144 \text{ г} \cdot CO_2 / \text{т}$ топлива;
- удельный эффективный расход топлива, одинаковый для всех типов главных двигателей $SFC = 190 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$;
- установленная мощность главных двигателей $P_{ME(i)} = 0,75 MCR_{ME(i)}$;
- мощность вспомогательных двигателей P_{AE} определяемая в соответствии с пп. 2.5.6.1 и 2.5.6.2 приложения к МЕРС.212(63);
- для пассажирских судов Ro-Ro $P_{AE} = 0,866 \cdot GT^{0,732}$.

Поправочные коэффициенты не применяются за исключением f_{jRo-Ro} и f_{cRoPax} . Инновационные механические технологии эффективного использования энергии, валогенераторы и другие инновационные энергосберегающие технологии исключены из расчета базовой линии, т. е. $P_{AEeff} = 0$, $P_{PTI} = 0$, $P_{eff} = 0$.

Уравнение для расчета оценочных значений индекса для каждого из судов, за исключением судов-контейнеровозов и грузовых судов Ro-Ro, имеет следующий вид:

$$\text{Value Index Estimated} = 3,1144 \cdot \frac{190 \cdot \sum_{i=1}^{nME} P_{MEi} + 215 \cdot P_{AE}}{\text{Capacity} \cdot V_{ref}} \quad (3)$$

Для контейнеровозов, 70 % DWT которых используется в качестве водоизмещения, уравнение для расчета оценочных значения индекса для каждого контейнеровоза имеет следующий вид:

$$\text{Value Index Estimated} = 3,1144 \cdot \frac{190 \cdot \sum_{i=1}^{nME} P_{MEi} + 215 \cdot P_{AE}}{70\% DWT \cdot V_{ref}} \quad (4)$$

Для судов типа Ro-Ro (транспорт) уравнение для расчета оценочных значения индекса для каждого контейнеровоза имеет следующий вид:

$$\text{Value Index Estimated} = f_{RoRoV} \cdot 3,1144 \cdot \frac{190 \cdot \sum_{i=1}^{nME} P_{MEi} + 215 P_{AE}}{\text{Capacity} \cdot V_{ref}} \quad (5)$$

где $f_{RoRoV} = (-15571 \cdot F_{(n)}^2 + 5538,4 F_n - 132,67) / 271$.

Для грузовых судов типа Ro-Ro уравнение для расчета оценочных значения индекса для каждого контейнеровоза имеет следующий вид:

$$\text{Value Index Estimated} = \frac{3,1144 \left(f_{jRoRo} \cdot 190 \sum_{i=1}^{nME} P_{MEi} + 215 P_{AE} \right)}{f_{cRoPax} \cdot \text{Capacity} \cdot V_{ref}} \quad (6)$$

В ответ на запросы по применению методологии расчетов, содержащихся в руководящем положении ИМО, фирма «BIMCO» создала EEDI-калькулятор [10], позволяющий с легкостью определить изменения в ККЭЭ при изменении проектных параметров. Панель управления калькулятора позволяет обеспечить:

- ввод исходных данных по судну (*Input sheet*);
- построение графических изображений в виде базовых линий и определение точек ККЭЭ (*Plot sheet*);
- формирование листа параметров (*Parameter list*);
- изучение инструкции по применению калькулятора (*How-to*);
- перечень версий калькулятора и их особенности (*Release notes*).

Следует отметить, что по мере совершенствования руководящих документов по методам вычисления ККЭЭ калькулятор прошел несколько стадий обновления и пригоден для выполнения актуальных расчетов.

Выводы

1. Формирование понятия «конструктивный коэффициент энергетической эффективности судна – ККЭЭ» происходило в течение длительного периода времени, во время которого удалось преодолеть существенные противоречия в его понимании и оценке.

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 ККЭЭ.

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

Список литературы

1. Energy Efficiency related Rules and Regulations — EEDI and Ship Design. EEDI and other EEE Rules and Regulations [Электронный ресурс] / Mia Elg. — 2014. — 55 с. — Режим доступа: URL: http://laradi.fi/images/files/syyspaivat_2014/Deltamarin_Elg_EE_Rules_and_Regulations_-_EEDI.pdf (дата обращения: 10.11.2014).

2. *Fournier A.* Controlling Air Emission from Marine Vessels: Problems and Opportunities [Электронный ресурс] / A. Fournier. — University of California Santa Barbara. — 2006. — 91 с. — Режим доступа: URL: <http://www.ourair.org/itg/past-activities> (дата обращения: 12.10.2012).

3. *Anink D.* The IMO Energy Efficiency Design Index. A Netherlands Trend Study. Centre for Maritime Technology and Innovation / D. Anink, M. Krikke. — 2009. — 52 с.

4. *Boletis E.* Integrated Propulsion Systems. The CIMAC Circle at the 2012 SMM [Электронный ресурс] / E. Boletis. — 2012. — 34 с. — Режим доступа: URL: http://www.cimac.com/congress_events/events-1.asp (дата обращения: 12.10.2012).

5. *Гришкин В. В.* О деятельности в области сокращения выбросов парниковых газов с судов / В. В. Гришкин // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2011. — № 34. — С. 153–166.

6. IMO (2010a). Reduction of Green House Gas emissions from Ships, Report of the Working Group on Energy Efficiency Measures for Ships, Paper MEPC 61/WP.10. — International Maritime Organization, London, United Kingdom.

7. Deltamarin Ltd. Study on tests and trials of the Energy Efficiency Design Index as developed by the IMO. Deltamarin EEDI Study for EMSA – Final Report.docx [Электронный ресурс]. — 2011. — 159 с. — Raisio, Finland. — Режим доступа: URL: <http://emsa.europa.eu/implementation-tasks/environment/items/id/1310.html?cid=96> (дата обращения: 09.09.2013).

8. 2013 Guidelines for calculation of reference lines for use with the energy efficiency design index (EEDI) Resolution MEPC., Annex 14 [Электронный ресурс]. — 2013. — № 231 (65) — 12 с. — Режим доступа: www.bimco.org/News/2013/05/17_Updated_EEDICalc.aspx?RenderSearch=true/ (дата обращения: 09.09.2013).

9. 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships. Resolution MEPC 66/21/Add 1 Annex 5, MEPC [Электронный ресурс]. — 2015. — 245 (66). — 30 с. — Режим доступа: URL: www.schonescheepvaart.nl/downloads/regelgeving/doc_1400076573.pdf (дата обращения: 02.02.2015).

10. BIMCO EEDI Calculator. EEDI Calculator (xls format) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: www.bimco.org/en/Products/EEDI.aspx (дата обращения: 23.01.2012).