

УДК 656.61.052

Тарасенко Т.В.
ЧАО «УДП»

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВ С ВРШ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА КОРОТКИХ МОРСКИХ ЛИНИЯХ

В соответствии с Резолюцией ИМО MERC.203 (62) введены поправки к Приложению VI к МАРПОЛ по техническим мерам сокращения выбросов парниковых газов с судов, вступающие в силу с 01.01.2013 г. Установлены два основных требования:

1) для каждого нового судна валовой вместимостью 400 и более тонн должны быть определены требуемый и допустимый конструктивные индексы (коэффициенты) энергетической эффективности (EEDI);

2) на каждом новом или существующем судне валовой вместимостью 400 и более тонн должен иметься и выполняться судовой план управления энергоэффективностью судна (SEEMP).

Достигнутый EEDI должен определяться в соответствии с пересмотренным «Руководством ИМО по методу расчета конструктивного индекса энергетической эффективности для новых судов 2012», приведенном в Резолюции MERC 212 (63).

Согласно [6]

$$EEDI = \frac{P \cdot SFC \cdot C_F}{Capacity \cdot v}, \text{ г/(т·миля)}.$$

где P – мощность главного двигателя (ГД), кВт; SFC – удельный расход топлива, г/(кВт·ч); C_F – коэффициент выбросов CO_2 (безразмерный конверсионный фактор между потреблением топлива и выбросом CO_2), $C_F = T_{CO_2} / T_{топлива}$; $Capacity$ – дедвейт для грузовых судов или валовая вместимость, для пассажирских судов, т; v – скорость судна, узлы. Числитель в этой формуле представляет собой выбросы CO_2 , г, а знаменатель – транспортную работу, т·миля.

Расчёт достижимого $EEDI_{attained}$ строго регламентирован:

$$EEDI_{attained} = \left\{ \left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) \right\} +$$

$$\begin{aligned}
 & + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} - \\
 & \quad \text{Уменьшение эмиссии CO}_2 \text{ вследствие} \\
 & - \left(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right) \cdot \underbrace{\frac{1}{f \cdot Capacity \cdot n \cdot f}}_{\text{Транспортная работа}}
 \end{aligned}$$

Показатели ИМО, как и показатели энергетической эффективности следует количественно снижать, что возможно как при уменьшении числителя (расхода топлива всеми судовыми потребителями), так и при увеличении знаменателя (производимой судном работы).

К инновациям, влияющим на знаменатель формулы показателя ИМО, следует отнести:

- полное использование транспортных характеристик судна – грузоподъемности, грузовместимости и т. д.;
- выбор оптимальных скоростей движения судна;
- оптимизацию схем и оборудования управления движением судна и т. п.

К инновациям, влияющим на числитель формулы показателей ИМО, следует отнести, прежде всего, влияние состояния корпуса судна и его движителей, в том числе окраска корпуса судна красками, снижающими сопротивление движению.

Расчет индекса $EEDI_{attained}$ для судна типа «Измаил» приведен в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные и результаты расчета по т/х «Измаил»

Верфь	ENVC, Португалия
Корпус	92167
ИМО №	9447885
Ледовый класс	ЛЗ
Тип	многоцелевое
Длина, м	88,15
Длина между перпендикулярами, м	82,3
Ширина, м	15,5
Осадка, м	5,67
Дедвейт, т	4109

Главный двигатель	Wärtsilä Vasa
Тип	6R32BC
Топливо	HFO
C_{FME} , Γ_{CO_2}/Γ	3,114
Максимальная продолжительная мощность (MCR_{ME}), кВт	1985
$P_{ME} = 0,75 MCR_{ME} - 0,75 P_{SG}/\eta_{SG}$, кВт	1281
Удельное потребление топлива при 75% MCR (SFC), г/(кВт-ч)	188
Количество главных двигателей	1
Фактор влияния ледового усиления на дефвейт f_j	0,97–1,00
Фактор влияния ледового усиления на мощность f_i	1
Скорость судна на глубокой воде при грузовой осадке при 75% MCR, узл.	11
Винт. Тип	ВРШ
Диаметр, м	3,5
Количество лопастей	4
Количество	1
Дизель-генераторы. Производитель	MAN 02866 TE
Максимальная продолжительная мощность (MCR), кВт	190
Мощность $P_{AE} = 0,05 MCR_{ME}$, кВт	99
Топливо	DO
C_{FAE} , Γ_{CO_2}/Γ	3,206
Удельное потребление топлива при 50% MCR (SFC)	212
Напряжение, В	380/220В
Количество	2
Валогенератор. Производитель	STAMFORD MNC434E2
Выходная мощность P_{PTO} , кВт	250
Напряжение, В	380/220
КПД валогенератора η_{SG}	0,89
Количество	1
Утилизационный котел	SUNROD EGE TYP1A
Мощность P_{PTL} , кВт	207
Производительность	7 кг/см ²
Индекс $EEDI_{attained}$	11,35

Судовой план управления энергоэффективностью судна (SEEMP) разрабатывается компанией для каждого судна с использованием эксплуатационного коэффициента энергетической эффективности (*EEOI*) в соответствии с рекомендациями MERC.1/Circ.684 от 17.08.2009 г., но могут быть использованы и иные показатели.

Проектный (конструктивный) индикатор (индекс) энергетической эффективности для новых судов *EEDI* (индекс эффективности использования энергии (ИЭИЭ) или конструктивный коэффициент энергетической эффективности (ККЭЭ)) и эксплуатационный критерий (показатель, индикатор) энергетической эффективности судна *EEOI* имеют одинаковый физический смысл – отношение количества произведенного парникового газа CO_2 к величине транспортной работы судна за определенный период времени (рейс, год и т.д.) и различаются лишь способом подсчета составляющих:

$$EEDI = \frac{(M_{\text{ТЭРпроект}} \cdot C_F)}{A_{\text{проект}}}, \frac{\text{масса } \text{CO}_2}{\text{Т} \cdot \text{км}}; \quad (1)$$

$$EEOI = \frac{(M_{\text{ТЭРфакт}} \cdot C_F)}{A_{\text{факт}}}, \frac{\text{масса } \text{CO}_2}{\text{Т} \cdot \text{км}}; \quad (2)$$

где $M_{\text{ТЭРпроект}}$; $M_{\text{ТЭРфакт}}$ – проектное и действительное потребление топлива всеми судовыми потребителями энергии, кг топлива/рейс; $A_{\text{проект}}$; $A_{\text{факт}}$ – проектная и действительная произведенная работа судна, т·км/рейс; C_F – безразмерный конверсионный фактор приведения расхода топлива к выбросам CO_2 , кг CO_2 /кгтоплива.

Из анализа физического смысла формул (1) и (2) следует, что индексы *EEDI* и *EEOI* являются не столько показателями энергетической эффективности судна, например, приведенные в [1, 2], сколько показателями генерации парникового газа CO_2 и отражают взаимосвязи трех факторов:

- расход топлива;
- приведение этого расхода к выбросам CO_2 ;
- работу судовой энергетической установки или судна в целом.

Таким образом, показатели ИМО характеризуют производство показателей энергетической эффективности работы судна на фактор приведения к выбросу CO_2 , обозначаемый C_F . Показатель C_F зависит

от типа топлива. Его значение в соответствии с документами ИМО выбирается из табл. 2.

Таблица 2. Значение безразмерного конверсионного фактора между потреблением топлива и производством CO_2

Тип топлива	Ссылка	Содержание углерода	$C_{F,г} \text{CO}_2/\text{г}$ топлива
1. Дизельное топливо/газойль	ИСО 8217 Сорта DMX и DMB	0,8744	3,206
2. Легкое топливо	ИСО 8217 Сорта RMA ч RMD	0,8594	3,151
3. Тяжелое топливо	ИСО 8217 Сорта RME ч RМК	0,8493	3,114
4. Сжиженный нефтяной газ LPG	Пропан	0,8182	3,000
	Бутан	0,8264	3,030
5. Сжиженный природный газ LNG		0,7500	2,750

Определение операционного коэффициента (индекса) энергоэффективности связано с необходимостью учета изменения условий плавания судна в течение рейса. Это связано с изменением направления и интенсивности ветра и волнения, изменения курсового угла встречи волн, прохождения проливов и участков, на которых может ощущаться влияние мелководья на посадку и характеристики ходкости судна, маневровые операции и т.п. На каждом из этапов рейса судна по каждому району перехода A_i [3], для которых условия движения квазистационарны, значения $EEOI$ будут различны. Таким образом в идеале задача судоводителя обеспечить такие режимы движения судна в эксплуатации, чтобы на каждом A_i участке перехода обеспечить выполнение условий A и B :

1. допустимое значение $EEOI_{A_i}$

$$A = (EEOI_{A_i} \rightarrow EEDI \rightarrow EEDI_{attained}); \quad (1)$$

2. минимальный расход топлива

$$B = (B_{q_i} \rightarrow B_{q_{\min}}) \quad (2)$$

При этом очевидно, что условия A (1) и B (2) равносильны и логически взаимосвязаны: $B \Rightarrow A$.

С эксплуатационной точки зрения наиболее важным является коэффициент f_w – безразмерный коэффициент, учитывающий снижение скорости судна при изменении метеоусловий (высота волн, скорость ветра и т.д.). В настоящее время не существует рекомендаций по определению его значений. Диапазон значений также не известен. На данном этапе ИМО рекомендует для расчета коэффициентов (индексов) энергетической эффективности принимать значение $f_w = 1$.

Однако учитывая, что для судов типа т/х «Измаил» в эксплуатационных условиях были определены характеристики, на основании которых построены зависимости удельного эффективного расхода топлива для волнения различной интенсивности (пример такой графической зависимости приведен в статье [5]), представляется возможным их использование в качестве основы для определения степени влияния морского волнения в эксплуатационных условиях на значения коэффициентов (индексов) энергоэффективности. При этом учитывается, что поддержание частоты вращения $n = \text{const}$ осуществляется всережимным регулятором частоты вращения (РЧВ) со встроенным ограничителем нагрузки, который определяет рациональные скоростные режимы нагружения дизеля в процессе перемещения рейки топливных насосов высокого давления (ТНВД) в зависимости от темпа роста давления наддувочного воздуха.

Таким образом, учитывая, что коэффициент f_w является функцией $f_w = f_w(h_{3\%}, \phi_w)$, примем

$$f_w(h_{3\%}, \phi_w) = \frac{b_e(h_{3\%}, \phi_w)}{b_{e0}},$$

где $b_e(h_{3\%}, \phi_w)$ – удельный эффективный расход топлива в эксплуатационных условиях с учетом интенсивности волнения и курсового угла встречи волн; b_{e0} – нормативное (базовое) значение удельного эффективного расхода топлива, принятое для данного судна.

Тогда для т/х «Измаил» при $b_{e0} = 0,278$ кг/кВт·ч и $b_e(h_{3\%}, \phi_w)$, определенных в результате эксплуатационных наблюдений, значе-

ние фактора f_w в эксплуатационном диапазоне скоростей и характеристик волнения будет находиться в диапазоне $f_w = 0,84 \div 1,01$.

Соответственно, при равных условиях изменение $EEOI$ для разных этапов и (участков) рейса будет колебаться в пределах $EEOI_{Ai} = 13,5 \div 11,25$ при скорости движения судна $v = 11$ уз. в зависимости от условий плавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков В.А., Обертюр К.Л., Кирис В.А. Модель расчета конструктивной энергоэффективности морского судна на примере контейнеровоза // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – 2012. – Вып. 29. – Одесса: ОНМА. – с. 23-34.

2. Егоров Г.В., Колесник Д.В. Оценка энергоэффективности грузовых судов смешанного плавания // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – 2012. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – с. 27-43.

3. Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Прогнозирование влияния нерегулярного волнения на ходкость одновинтового судна // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – 2005. – Вып. 10. – Одесса: ОНМА. – с. 76-92.

4. Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Задача создания Short Sea Shipping – коротких морских сообщений для Дуная // International Black Sea Transport Forum. Транспортная стратегия Украины. 21–22 октября 2009 г. Официальный каталог – 2009. – Одесса: Media-compass. – С. 40 - 41.

5. Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Экономичные режимы главных двигателей с ВРШ в условиях волнения // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – 2009. – Вып. 15. – Одесса: ОНМА. – с. 83-98.

6. MEPC 60/4/35. Prevention of Air Pollution from Ships, Mandatory EEDI requirements. - Draft text for adding a new part to MARPOL Annex VI for regulation of the energy efficiency of ships.