

УДК 656.61.052

## СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА И ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗВИТИЯ «ПАРНИКОВОГО» ЭФФЕКТА – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА СОВРЕМЕННОГО СУДОХОДСТВА

**Жмур В. Н.**, старший преподаватель кафедры судовождения и электронных навигоационных систем Херсонской государственной морской академии, e-mail: viz.post@ukr.net;

**Леонов В. Е.**, д.т.н., профессор кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: leonov\_v\_e@i.ua

*План управления энергоэффективностью судна (ПУЭС) с 1 января 2013 года является обязательным для судов с валовой вместимостью свыше 400 тонн. Этот план был разработан в соответствии с ИМО Руководством (Резолюция МЕРС.213(63)). Целью ПУЭС является оценка и контроль эффективности использования судов и энергоресурсов. В нем признается необходимость оказания помощи компании и отрасли в управлении экологическими показателями судов и, что эта эффективность эксплуатации внесет неоценимый вклад в снижение мировых выбросов углерода. Новизна полученных результатов заключается в сценарном подходе к разработке алгоритма выбора стратегии принятия решений, гарантирующей минимальную разность между гарантированной оценкой (конструктивная энергоэффективность) и гарантированной стратегией (операционная энергоэффективность), путем изменения составляющих сложного движения судна в зависимости от интенсивности воздействия природных неопределенных факторов, взаимосвязи между показателем операционной энергоэффективности работы судна и величиной расхода топлива энергетической установкой.*

*Экономический стимул для судоходной отрасли заключается в инвестировании в более топливосберегающие суда и технологии, а также использовать их в более энергоэффективный способ.*

**Ключевые слова:** план управления энергоэффективностью, EEDI, EEOI, коэффициент выбросов, конструктивный коэффициент энергоэффективности.

**Вступление.** В условиях сложившегося функционирования технических систем экономические преобладают, являясь значимыми и первоочередными в ущерб экологическим проблемам современного общества. В настоящей статье изложены принципы решения экономических и экологических проблем на примере морского транспорта. В Меморандуме климатического саммита (Париж, 2015 г.) морской транспорт не включен, что по сути освобождает его от последствий, приводящих к «парниковому» эффекту. В то же время вклад в «парниковый» эффект морского транспорта составляет 15 % и имеет тенденцию к росту.

И, вот, первый шаг уже сделан – это План управления энергоэффективностью судна (ПУЭС, Ship Energy Efficiency Management plan – SEEMP) [1–3].

Требования к SEEMP регламентированы следующими документами:

- Правилем 22 Приложения VI МАРПОЛ;
- Резолюцией МЕРС.203(62);
- Резолюцией МЕРС.212(63);
- Резолюцией МЕРС.213(63);
- Резолюцией МЕРС.214(63);
- Резолюцией МЕРС.231(65);
- Резолюцией МЕРС.282(70) – вступает в силу 1 марта 2018 г. [4–10].

**Анализ Резолюций по энергоэффективности судов.** Комитет по защите морской среды (МЕРС) 65 (май, 2013) рассмотрел предложение США о том, чтобы повысить энергоэффективность международного судоходства путем поэтапного подхода.

Комитет по защите морской среды Международной морской организации резолюцией МЕРС.282(70) от 28.10.2016 принял Руководство 2016 года по разработке плана управления энергоэффективностью судна (ПУЭС). В связи с принятием этого Руководства отменено Руководство 2012 года, принятое резолюцией МЕРС.213(63). Основное отличие нового Руководства – учёт требований резолюции МЕРС.278(70) от

28.10.2016 по обеспечению ежегодной отчётности судов валовой вместимостью 5000 и более о расходе топлива, пройденном расстоянии и времени в пути. Резолюция МЕРС.278(70) от 28.10.2016 должна вступить в действие 01.03.2018, но, как отмечено в резолюции МЕРС.282(70), заблаговременное изменение Руководства связано с необходимостью обеспечения «единообразного и эффективного осуществления правил, а также предоставления отрасли достаточного времени для подготовки» [5–11].

**Целью данной статьи является** исследование значения индекса энергоэффективности ЕЕОІ, снижение расхода топлива для его уменьшения при плавании в различных погодных условиях.

**Основная часть.** Согласно Руководству 2016 года ПУЭС должны иметь две части: часть I «План управления, направленный на повышение энергоэффективности» (то, что требовалось Руководством 2012 года) и дополнительно часть II «План сбора данных по расходу топлива» со следующей примерной формой:

- сведения о судне;
- форма учета изменений, вносимых в План сбора данных по расходу судового топлива;
- судовые двигатели, другие потребители судового топлива и типы используемого судового топлива;
- коэффициент выбросов ( $CF$  – безразмерный коэффициент преобразования расхода судового топлива в выбросы  $CO_2$ , указанный в Руководстве 2014 года по методу вычисления фактического конструктивного коэффициента энергоэффективности (ККЭЭ) для новых судов (резолюция МЕРС.245(66) с поправками). Общий годовой объём выбросов  $CO_2$  рассчитывается путём умножения годового расхода судового топлива на  $CF$  для данного типа топлива).

Тип судового топлива	$C_{F^*}$ т $CO_2$ /т топлива
Дизельное/газойль (например, ИСО 8217, марки от DMX до DMV)	3,206
Легкое жидкое топливо (например, ИСО 8217, марки от RMA до RMD)	3,151
Тяжелое жидкое топливо (например, ИСО 8217, марки от RME до RMK)	3,114
Сжиженный нефтяной газ (пропан)	3,000
Сжиженный нефтяной газ (бутан)	3,030
Сжиженный природный газ	2,750
Метанол	1,375
Этанол	1,913
Прочее (.....)	

Рисунок 1 – Таблица коэффициентов преобразования расхода топлива в выбросы  $CO_2$

Для сбора данных о годовом расходе судового топлива рекомендованы следующие методы:

1. Метод на основе накладных на поставку бункерного топлива.
2. Метод на основе использования расходомеров.
3. Метод на основе мониторинга количества бункерного судового топлива в танках, имеющих на борту.

Если используются виды судового топлива, которые не относятся ни к одной из категорий, указанных в Руководстве 2014 года по методу вычисления фактического ККЭЭ для новых судов (резолюция МЕРС.245(66)) с поправками и не имеют установленного коэффициента  $CF$  (например, некоторые виды «гибридного судового топлива»), то

коэффициент  $CF$  для соответствующего продукта должен предоставить поставщик судового топлива, обосновав его документально.

Пройденное расстояние должно регистрироваться в журнале в соответствии с правилом V/28.1 Конвенции СОЛАС. При этом учитывается только расстояние, пройденное при движении судном самостоятельно. Время в пути должно представлять собой суммарную продолжительность движения судна своим ходом. План сбора данных должен содержать меры контроля качества данных, которые должны быть интегрированы в действующую на судне систему управления безопасностью. Также в План можно включить процедуры: идентификации пробелов в данных и их устранения; устранения пробелов в данных в случае отсутствия данных мониторинга, например, вследствие неисправности расходомера. Собранные данные должны предоставляться в стандартизированном формате:

1 – в соответствии с Системой опознавательных номеров судов ММО, принятой резолюцией А.1078(28);

2 – как определено в правиле 2 Приложения VI к Конвенции МАРПОЛ или в ином месте (указать);

3 – валовая вместимость должна рассчитываться в соответствии с Международной конвенцией по обмеру судов 1969 года;

4 – NT должна рассчитываться в соответствии с Международной конвенцией по обмеру судов 1969 года. Если это не применимо, указывается «н/п»;

5 – DWT означает разницу в тоннах между водоизмещением судна в воде с относительной плотностью  $1025 \text{ кг/м}^3$  при осадке по летнюю грузовую марку и при весе судна порожнем. Осадка по летнюю грузовую марку должна пониматься как максимальная летняя осадка, подтвержденная в буклете об остойчивости, который одобрен Администрацией или признанной ею организацией.

6 – ККЭЭ должен рассчитываться в соответствии с Руководством 2014 года по методу вычисления фактического ККЭЭ для новых судов с поправками, принятым резолюцией МЕРС.245(66). Если это не применимо, указывается «н/п»;

7 – ледовый класс должен быть обозначен в соответствии с определением, приведенным в Международном кодексе для судов, эксплуатирующихся в полярных водах, принятом резолюциями МЕРС.264(68) и МСC.385(94). Если это не применимо, указывается «н/п»;

8 – приводится мощность двигателей, если она превышает 130 кВт. Номинальная мощность означает максимальную длительную мощность, указанную в паспортной табличке двигателя;

9 – один из трёх вышеуказанных методов.

В Руководстве 2016 года указано, что часть I ПУЭС может быть элементом судовой системы управления безопасностью, но, если в судоходной компании действует система экологического менеджмента, соответствующая стандарту ИСО 14001, то мониторинг эксплуатационной экологической эффективности может быть неотъемлемой частью системы экологического менеджмента.

Проектный индекс энергетической эффективности для новых судов  $EEDI$  (или конструктивный коэффициент энергетической эффективности) и эксплуатационный критерий энергетической эффективности судна  $EEOI$  имеют одинаковый физический смысл – отношение количества произведенного парникового газа  $\text{CO}_2$  к величине транспортной работы судна за определенный период времени (рейс, год и т.д.) и различаются лишь способом подсчета составляющих:

$$EEDI = \frac{(\text{MTЭР}_{\text{пр}} \times CF)}{A_{\text{пр}}},$$

$$EEOI = \frac{(\text{MTЭР}_{\text{ф}} \times CF)}{A_{\text{ф}}},$$

где  $MTЭPп$ ;  $MTЭPф$  – проектное и действительное (фактическое) потребление топливно-энергетических ресурсов всеми судовыми потребителями энергии, кг;  $Aпp$ ;  $Aф$  – проектная и действительная (фактическая) произведенная работа судна, т·км (за рейс, год или другой расчётный период);  $CF$  – безразмерный конверсионный фактор приведения расхода топлива к выбросам  $CO_2$ , кг  $CO_2$ /кг топлива.

Судовой план управления энергоэффективностью судна (*SEEMP*) разрабатывается компанией для каждого судна с использованием эксплуатационного (операционного) коэффициента энергетической эффективности (*EEOI*) в соответствии с рекомендациями *MEPC.1/Circ.684* от 17.08.2009 года и Резолюцией *MEPC 203*, принятой 15.07.2011 года. При этом каких-либо ограничений или технологических требований не существует, могут быть использованы и иные показатели.

Для примера покажем расчет *EEOI* м/в «BBC Steinhoeft» HLFT voy. 1031–027 Houston – Maracaibo: груз 2884,7 мт; расстояние 1948 миль, израсходовано тяжелого топлива HFO – 95500 кг, дизельного MGO – 12800 кг; средняя скорость – 12,48 узла; море – 5–6 баллов.

**Calculation of the EEOI**

Vessel's name: BBC Steinhoeft Voyage number: 1031-027  
 from: Houston to: Maracaibo

Cargo quantity: 2884,7 mt (for ballast voyages enter ballast water quantity)

From position date / time	To position date / time	distance	speed	fuel quantity (kg)			weather conditions, remarks
				HFO	LFO	Gas oil	
Houston 30.12.16/20:05	Maracaibo 06.01.17/10:10	1948	12.48	96	0	13	
<b>Summary</b>		<b>1948</b>		<b>96</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	
Factor				3,1144	3,15104	3,206	
fuel quantity x factor				297	0	41	
Sum of CO <sub>2</sub> per voyage (kg)				338			
Sum of CO <sub>2</sub> / (1000 x ton cargo x nm)				<b>0,000</b>			<b>EEOI</b>

**Instruction:**  
 Having completed the above table (voyage) copy the values of the below row no. 33 to the end of the table on the next page „Year“. Important: Do not copy the formulars but the values only.

Voyage	from	to	distance	cargo (mt)	CO <sub>2</sub> (kg)	EEOI
1031-027	Houston	Maracaibo	1948	2884,7	338	6,0231E-05

<<< copy these cells into table on page „Year“.

30.11.2017 page 1 of 1

Рисунок 2 – Пример расчет *EEOI* м/в «BBC Steinhoeft»

В качестве примера приводим методы повышения энергоэффективности. К таким методам относятся:

1. Планирование рейса. Оптимальный маршрут и точное его выполнение способствует повышению энергоэффективности.
2. Погодное планирование. На отдельных маршрутах затраты на преодоление плохих условий плавания могут быть выше, чем затраты на преодоление лишнего пути с целью избежать эти плохие условия.
3. Временное планирование. Коммуникация со следующим портом даёт возможность раннего предупреждения о доступности причала и, как следствие, возможность планирования оптимальной скорости судна.
4. Оптимизация скорости судна. Один из наиболее действенных методов уменьшения расхода топлива и повышения энергоэффективности.
5. Оптимизация развиваемой мощности главного двигателя.

6. Оптимальное управление судном. Включает в себя использование оптимального дифферента, принятие оптимального количества балласта, оптимизация набегающего потока воды на судовой винт и оптимизация авторулевого.

7. Обслуживание корпуса.

8. Оптимизация работы судовой энергетической установки. Включает в себя систематическое уменьшение механических потерь и потерь теплоты.

9. Обслуживание судовой энергетической установки. Использование системы контроля износа может быть полезным инструментом для поддержания высокой эффективности судовой энергетической установки.

10. Утилизация теплоты. Современные системы могут использовать тепло выхлопных газов при производстве электричества или дополнительным воздействием на валопровод.

11. Улучшение управления судами. Лучшая утилизация мощностей судов компании может улучшить их энергоэффективность. К, примеру, минимизация балластных переходов.

12. Оптимизация грузовых операций.

13. Управление электроэнергией. Пересмотр потребления электроэнергии может привести к оптимизации управления электроэнергией.

14. Использование альтернативных видов топлива.

В заключение хотелось бы отметить, что при разработке ПУЭС необходимо использовать инновационно-технические решения в области ресурсосберегающих технологий, направленных на повышение технико-экономических и эксплуатационных показателей рейса. Ведь целью ПУЭС является разработка рекомендаций направленных на повышение энергетической эффективности морских перевозок при безусловном выполнении требований по защите окружающей среды. В свою очередь эффективность ПУЭС зависит от использования накопленного научного и практического опыта в части экономии судового топлива, планирования, уменьшения эмиссии вредных токсичных компонентов с отработанными газами СЭУ.

#### **Выводы**

1. Проведен подробный анализ плана управления энергетической эффективностью судна, дающий нам возможность утверждать, что он является регулятором эксплуатационной экологической эффективности.

2. Произведен практический расчет EEOI m/v «BBC Steinhoeft» при переходе Houston – Maracaibo, что является доказательством влияния исходного судового топлива на эмиссию диоксида углерода – компонента «парниковых» газов.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Горб С. И. Новая отчетность по расходу топлива судами // Работник моря. – 2017. – № 16 (128). – С. 4.

2. Современные информационные технологии обеспечения безопасности судоходства и их комплексное использование : монография / под ред. В. Е. Леонова. – Херсон : ХГМА 2014. – 452 с.

3. Обеспечение безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды : монография / под ред. В. И. Дмитриева, В. Е. Леонова. – Херсон, 2012. – 399 с.

4. Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов : электронный текст документа подготовлен ЗАО «Кодекс», сверен по МАРПОЛ. Книга III, пересмотренное Приложение VI к МАРПОЛ. – М. : издание ЗАО «ЦНИИМФ», 2012.

5. IMO – Model – Course charters 7.01–7.04, 7.08, 1.38 – Marine Inviromental Awareness. – London: IMO, MEPC, 2010. – 37 p.

6. Резолюция МЕРС.203(62). – Электронный текст документа :  
[http://rise.odessa.ua/texts/MEPC203\\_62.php3](http://rise.odessa.ua/texts/MEPC203_62.php3)
7. Резолюция МЕРС.212(63). – Электронный текст документа :  
[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.212\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.212(63).pdf)
8. Резолюция МЕРС.213(63). – Электронный текст документа :  
[http://rise.odessa.ua/texts/MEPC213\\_63r.php3](http://rise.odessa.ua/texts/MEPC213_63r.php3)
9. Резолюция МЕРС.214(63). – Электронный текст документа:  
[http://rise.odessa.ua/texts/MEPC214\\_63.php3](http://rise.odessa.ua/texts/MEPC214_63.php3)
10. Резолюция МЕРС.231(65). – Электронный текст документа:  
[http://rise.odessa.ua/texts/MEPC231\\_65.php3](http://rise.odessa.ua/texts/MEPC231_65.php3)
11. Резолюция МЕРС.278(70). – Электронный текст документа:  
[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.282\(70\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.282(70).pdf)

## REFERENCES

- Gorb S.I. Novaya otchotnost' po raskhodu topliva sudami //Rabotnik morya. – 2017, № 16 (128), s. 4.
- Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti sudokhodstva i ikh kompleksnoye ispol'zovaniye. Monografiya. Pod redaktsiyey d.t.n., professora V.Ye.Leonova. Kherson-KHGMA 2014,s. 452.
- Obespecheniye bezopasnosti plavaniya sudov i predotvrashcheniye zagryazneniya okruzhayushchey sredy. Monografiya. Pod redaktsiyey k.t.n., professora V.I.Dmitriyeva i d.t.n., professora V.Ye.Leonova, Kherson – 2012, s. 399.
- Elektronnyy tekst dokumenta podgotovlen ZAO «Kodeks» i sveren po: MARPOL. Kniga III, peresmotrennoye Prilozheniye VI k MARPOL «Pravila predotvrashcheniya zagryazneniya vozduшной sredy s sudov», izdaniye ZAO «TSNIIMF», 2012.
- IMO – MODEL – COURSE CHARTERS 7.01 – 7.04, 7.08,1.38 – MARINE INVIROMENTAL AWARENESS. LONDON: IMO,MEPC – 2010, 37 p.
- Rezolyutsiya МЕРС.203(62). Elektronnyy tekst dokumenta:  
[http://rise.odessa.ua/texts/MEPC203\\_62.php3](http://rise.odessa.ua/texts/MEPC203_62.php3)
- Rezolyutsiya МЕРС.212(63). Elektronnyy tekst dokumenta:  
[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.212\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.212(63).pdf)
- Rezolyutsiya МЕРС.213(63). Elektronnyy tekst dokumenta:  
[http://rise.odessa.ua/texts/MEPC213\\_63r.php3](http://rise.odessa.ua/texts/MEPC213_63r.php3)
- Rezolyutsiya МЕРС.214(63). Elektronnyy tekst dokumenta:  
[http://rise.odessa.ua/texts/MEPC214\\_63.php3](http://rise.odessa.ua/texts/MEPC214_63.php3)
- Rezolyutsiya МЕРС.231(65). Elektronnyy tekst dokumenta:  
[http://rise.odessa.ua/texts/MEPC231\\_65.php3](http://rise.odessa.ua/texts/MEPC231_65.php3)
- Rezolyutsiya МЕРС.278(70). Elektronnyy tekst dokumenta:  
[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.282\(70\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.282(70).pdf)

**Жмур В. М., Леонов В. Є.** ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА І ІНТЕНСИВНОСТІ РОЗВИТКУ «ПАРНИКОВОГО» ЕФЕКТУ – СТРАТЕГІЧНЕ ЗАВДАННЯ СУЧАСНОГО СУДНОПЛАВСТВА  
*План управління енергоефективністю судна (ПУЕС) з 1 січня 2013 року є обов'язковим для суден з валовою місткістю понад 400 тонн. Цей план був розроблений у відповідності з ІМО Керівництвом (Резолюція МЕРС.213 (63)). Метою ПУЕС є оцінка і контроль ефективності використання суден і енергоресурсів. У ньому визначається необхідність надання допомоги компанії і галузі в управлінні екологічними показниками суден і, що внесе неоціненний внесок в зниження світових викидів вуглецю.*

*Новизна отриманих результатів полягає в сценарному підході до розробки алгоритму вибору стратегії прийняття рішень, що гарантує мінімальну різницю між гарантованою оцінкою (конструктивна енергоефективність) і гарантованою стратегією (операційна енергоефективність), шляхом зміни складових складного руху судна в залежності від інтенсивності впливу природних невизначених факторів, взаємозв'язку між показником операційної енергоефективності роботи судна і величиною витрати палива енергетичною установкою.*

*Економічний стимул для судноплавної галузі полягає в інвестуванні в більш паливозберігаючі судна і технології, а також використовувати їх в енергоефективніший спосіб.*

**Ключові слова:** *план управління енергоефективністю, EEDI, EEOI, коефіцієнт викидів, конструктивний коефіцієнт енергоефективності.*

**Zhmur V. N., Leonov V. E. REDUCTION IN FUEL CONSUMPTION AND INTENSITY OF DEVELOPMENT OF THE «GREENHOUSE» EFFECT – STRATEGIC TASK OF MODERN NAVIGATION**

*The Ship Management Plan for the Energy Efficiency of the Ship (SEEMP) from January 1, 2013 is mandatory for vessels with a gross tonnage of more than 400 tons. This plan was developed in accordance with the IMO Guidelines (Resolution MEPC.213 (63)). The purpose of the SEEMP is to assess and monitor the efficiency of the use of ships and energy resources. It recognizes the need to assist the company and the industry in managing the environmental performance of ships and that this operational efficiency will make an invaluable contribution to reducing global carbon emissions. The novelty of the results is a scenario approach to developing an algorithm for choosing a decision strategy that guarantees the minimum difference between a guaranteed estimate (constructive energy efficiency) and a guaranteed strategy (operational energy efficiency), by changing the components of a complex ship movement, depending on the intensity of the impact of natural uncertain factors, the relationship between indicator of operational energy efficiency of the vessel and the amount of fuel consumption of energy system.*

*The economic incentive for the shipping industry is to invest in more fuel-efficient vessels and technologies, and also to use them in a more energy-efficient way.*

**Keywords:** *Energy Efficiency Management Plan, EEDI, EEOI, emission factor, constructive coefficient of energy efficiency.*

© Жмур В. М., Леонов В. Є.

Статтю прийнято  
до редакції 31.11.17