

УДК 656.61.052(075.8)

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.133>

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ЕЕОІ СУДНА В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО МОРСКОГО РЕЙСА

В.Е. Леонов

Херсонская государственная морская академия,
г. Херсон, Украина

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5590-8807>

А.Д. Сердюк

Херсонская государственная морская академия,
г. Херсон, Украина

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5122-1821>

Аннотация: Рассмотрен кругосветный переход контейнеровоза *m/v Katherine*. Целью работы является найти пути снижения конверсии углеводородного носителя в энергию перемещения контейнеровоза и эмиссии диоксида углерода при изменении параметров морского перехода: пройденный путь, скорость судна (V_s), масса перевозимого груза (G_c). Для выбранной судовой энергетической установки (*Ship Power Plant - SPP*) методом исследования и обобщения определена параметрическая зависимость V_s и конверсии углеводородного носителя от мощности на коленчатом валу *SPP*. Минимально допустимая возможная эффективность (*EEDI*) определяется по указанной в *Resolution MEPC.212(63)* модели. *Energy Efficiency Operational Indicator* (*EEOI*) определяется в зависимости от конверсии углеводородного носителя, концентрации углерода в судовом топливе при принятых на переход основных параметрах: пройденный путь, V_s , G_c . Проведены исследования изменения *EEOI* в зависимости от пройденного пути (200 до 2 800 nautical miles), V_s (0,01 до 24,0 kn), G_c (4000 до 70000 t).

Определена область наименьших значений эмиссии CO_2 *EEOI*, максимально приближающаяся к *EEDI*, в зависимости от изменения параметров морского перехода. Зависимость *EEOI* от G_c при постоянных значениях V_s и пройденного пути описывается гиперболой, которая при G_c в пределах 60000-70000 t стремится к величине *EEDI*, а при G_c , приближающихся к нулю, — к бесконечности. Выявлено, что пройденный путь не влияет на значение *EEOI*. Влияние V_s на *EEOI* имеет нерегулярный характер.

Рассмотрены вопросы полной замены атмосферного воздуха на синтетический O_2 , который приведет к значительному снижению конверсии углеводородного носителя и, соответственно, к снижению эмиссии диоксида углерода и организации безбалластных морских переходов.

Ключевые слова: конструктивный, операционный коэффициент, энергетическая эффективность судна, тип судна, морской переход, скорость, масса, дистанция, конверсии углеводородного носителя, эмиссия, судовое топливо, кислород, атмосферный воздух, диоксид углерода

Введение

В последнее время International Maritime Organization (IMO) приняла Резолюции, направленные на снижение конверсии углеводородного носителя в энергию перемещения контейнеровоза (КУВН), выбросы CO_2 — главного составляющего «greenhouse gases» [1]–[5], и SO_2 от основных и вспомогательных *SPP*. [6], [7].

На Международной конференции в 1997 г. членов IMO (MARPOL 73/78) была принята Резолюция по вопросу снижения выбросов CO_2 при эксплуатации судов. Согласно этой резолюции, IMO в декабре 2003 г. приняла Resolution A.963(23). Данная резолюция отмечает актуальность снижения выбросов вредных, токсичных компо-

нентов, влияющих на изменение климата планеты и деструкции природных экосистем.

В работе [8] проведен анализ нормирования выбросов диоксида углерода энергетическими установками речных и морских судов. В качестве приемлемой модели для этого используется критерий энергетической эффективности новых/строящихся судов по Energy Efficiency Design Index (EEDI). Данный индекс характеризуется количеством CO_2 в расчете на пройденный путь и груз. Также уделен вопрос формированию понятия «конструктивный коэффициент энергетической эффективности судна», способу его расчета и аналитической оценки для всех типов судов. Установлено влияние типа судового топлива, отдельных конструктивных особенностей судов на величину EEDI.

В работе [9] рассмотрен вопрос повышения энергетической эффективности танкера для перевозки сжиженного природного газа – Liquefied Natural Gas (LNG) при использовании различного судового топлива – низкосернистого (НС) и высокосернистого (ВС). Объект исследований - танкер-газовоз дедвейтом 54 354 мт, мощность силовой установки 12 400 кВт. Для того, чтобы оценить энергетическую эффективность судна, использовали Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), определяющийся выбросами диоксида углерода на массу транспортируемого груза и пройденный путь. Сравнительный анализ проводился с учётом изменения КУВН марки RMG 380 (ВС) и легкого дизельного топлива DMA(НС).

При использовании LNG в качестве топлива повышается экономическая и энергетическая эффективность судна, удовлетворяя требования MARPOL 73/78 с 01.01. 2020 г. относительно снижения содержания сернистых соединений в топливе не более 0,5 % масс.

По нашему мнению в данном случае при использовании LNG в качестве судового топлива следует рассмотреть вопрос о возможности использования существующих конструкций Ship Power Plant (SPP), без дополнительной реконструкции действующих SPP использование LNG в качестве топлива на судах проблематично.

В качестве дискуссии к полученным результатам в работе [9] предлагаем сравнить экономические и экологические показатели. За основу приняты исходные данные, приведенные в работе [9]. При использовании НС топлива DMA эксплуатационный коэффициент энергетической эффективности снижается всего на 6,4% по сравнению с тяжёлым судовым топливом марки RMG 380, а стоимость НС топлива DMA больше стоимости ВС тяжёлого судового топлива RMG 380 в 1,9 раза (190%).

Напрашивается резонный вопрос: стоит ли такой высокой стоимостью судового топлива (190%) добиваться столь малозначительного (всего 6,4%) увеличения ЭКЭЭС?

Тем не менее, в опубликованной ранее литературе до сих пор не проведен анализ определения минимального значения/области значений EEOI при изменении всех параметров перехода, а именно скорости судна (V_s), массы перевозимого груза (G_c), пройденного пути, гидрометеорологических условий и типа судна.

Мы считаем, что наиболее актуальным является вопрос снижения EEOI в зависимости от типа судов, параметров морского перехода, реальных гидрометеорологических условий рейса.

В представленных работах [10], [11] в условиях реального морского рейса впервые установлена параметрическая связь EEOI судна от V_s , G_c и пройденного пути. В работе [12] были рассмотрены различные типы судов и показано, что независимо от этого, а так же от G_c : V_s , и пройденного пути зависимость EEOI имеет одинаковую характеристику.

Целью данной работы является определить наименьшие значения эмиссии CO_2 EEOI судна/рейса в зависимости от ключевых параметров морского перехода с целью снижение выбросов CO_2 – главного составляющего «greenhouse gases».

Материалы и методы

Рассмотрен реальный переход, который осуществлялся по маршруту: Альхесирас, Испания (10.03.2020), – Марсашлокк, Мальта (13.03.2020) – Ливорно, Италия (16.03.2020) – Генуя, Италия (17.03.2020) – Барселона, Испания (20.03.2020) – Валенсия, Испания (22.03.2020) – Фор-де-Франс, Мартиники (01.04.2020) – Пуэнт-а-Питр, Гваделупа (02.04.2020) – Кауседо, Доминиканская Республика (03.04.2020) – Картахена, Колумбия (06.04.2020) – Кингстон, Ямайка (08.04.2020) – Хьюстон, США (12.04.2020) – Веракрус, Мексика (15.04.2020) – Мансанильо, Панама (21.04.2020) – Моин, Коста-Рика (23.04.2020)– Картахена, Колумбия (25.04.2020) – Альхесирас, Испания (05.05.2020). Общее время перехода 56 суток.

Измеренное атмосферное давление при выходе m/v Katherine из порта Альхесирас, Испания и в течении всей навигации в водах Средиземноморского бассейна составляло/колебалось от 1020 ГПа до 1024 ГПа. Сила ветра, измеренная по шкале Бофорта, была от трех до пяти баллов. Ветер – не постоянный, часто менялся в течении дня. Облачность – умеренная (3/8), что обеспечивало хорошую видимость. Состояние моря — волнение в 3-4 балла. Температура воздуха колебалась днем в пределах 15-19°C, ночью понижалась до 14-16°C.

Во время трансатлантического перехода / подхода к порту Фор-де-Франс, Мартиники сила ветра - пять-шесть баллов, облачность – средняя (4-6/8), ливневые осадки на протяжении 2-3 часов каждый день.. Видимость значительно ухудшилась при навигации к портам Хьюстон, США, Мансанильо, Панама, и Моин, Коста-Рика, где была повышенная влажность и туман, с дальностью видимости менее 1 мили.

Таблица 1

Характеристики m/v Katherine и SPP

Название судна	m/v Katherine
Тип судна	Container Vessel
Порт регистрации	Majuro, Marshall Islands
Позывной сигнал	V7ZU2
Официальный номер	4914
IMO номер	9641235
MMSI	538004914
Владелец	Ikaros Marine LLC
Менеджер	Technomar Shipping Inc.
Дата постройки	30 April 2013
Length over all, м (LOA)	270,07 m
Length between Perpendiculars, м (LBP)	258,00 m
Moulded breadth, м	42,80 m
Moulded depth, м	24,80 m
Draft _{max} , м	14,52 m
Air draft _{max} , м	61,9 m (with mast tilted: 58,5 m)
Displacement, т	103698 tons
Deadweight, т	80274 tons
Gross tonnage, т (GT)	71021 tons
Net tonnage, т (NT)	40452 tons
Классификационное общество	RINA
Судостроительная компания	Hyundai Samho Heavy Industries Co. Ltd, Korea
Главный двигатель	One (1) Hyundai MAN B&W 8S80ME-C9-2/ 33670 kW at 78 rpm
Носовое подруливающее устройство	2500 kW / 3000 HP
Вспомогательные двигатели	3?3350 kW, 1?2850 kW (4) Hyundai Himsen H32/40
Тип гребного винта	Fixed, right handed type

Ship fuel	Marine Diesel Oil (MDO)
Конверсия УН	174,15 g/kWh 100% at shop test
Суточная конверсия УН	104 tons / day
Количество членов экипажа	21

Независимо от этого m/v Katherine продолжало запланированный рейс без внесения изменений в маршрут, без понижения V_s , и m/v Katherine прибыло в порты назначения в указанное время.

Допплер-лаг DS-60 использовался для измерения V_s m/v Katherine и пройденного пути. Объем судового топлива, которое было загружено при бункеровке, определялось с помощью расходомеров, а КУВН определялся на определенный переход / момент времени по показателю уровня изменения топлива в танке.

Технические характеристики m/v Katherine и SPP приведены в таблице 1.

В качестве судового дизельного топлива использовалось Melina S30. Плотность при 15°C – 0,884 кг/л, температура воспламенения 260°C, кинематическая вязкость при 40°C–105,4 сст.

Результаты исследований

Исследования проводились согласно изложенной в представленной работе [13] методике.

На основании мощностных характеристик SPP One (1) Hyundai MAN B&W 8S80ME-C9-2/ 33670 kW at 78 rpm исследованием и обобщением мы определили параметрическую зависимость КУВН и V_s от доли используемой мощности (рис.1).

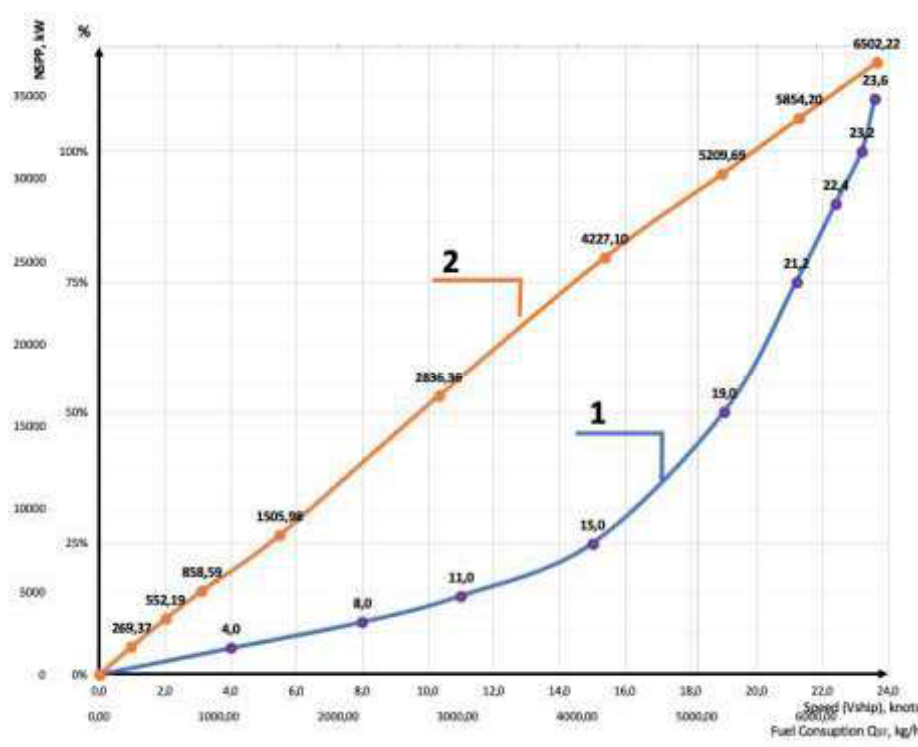


Рис.1. Изменение V_s (линия 1) и КУВН (линия 2) от мощности на коленчатом валу SPP

На основании проведенных исследований нами установлено, что пройденный путь практически не влияет на ЕЕОИ (рис.2).

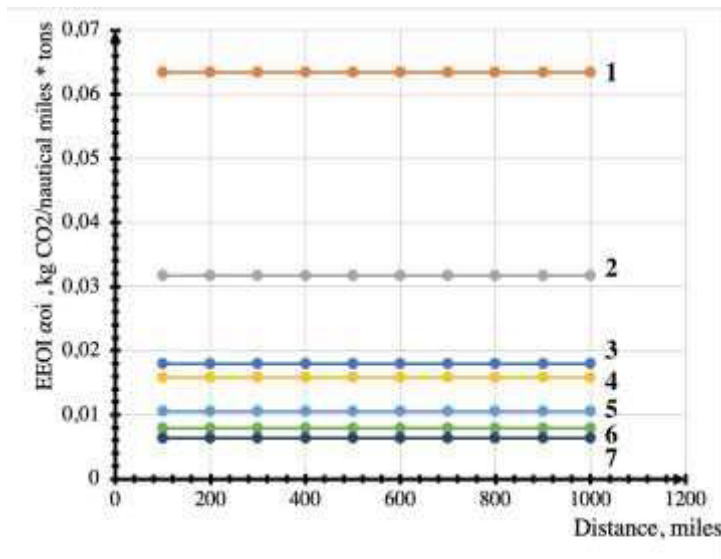


Рис.2. Изменение ЕЕОИ от пройденного пути при V_s судна 14,8 узлов и G_c , т.: 1 – 5 000 , 2 – 10 000 , 4 – 20 000 , 5 – 30 000 , 6 – 40 000 и 7 – 50 000, соответственно. Линия 3 – EEDI.

Зависимость ЕЕОИ от G_c описывается гиперболами (рис.3 и рис.4).

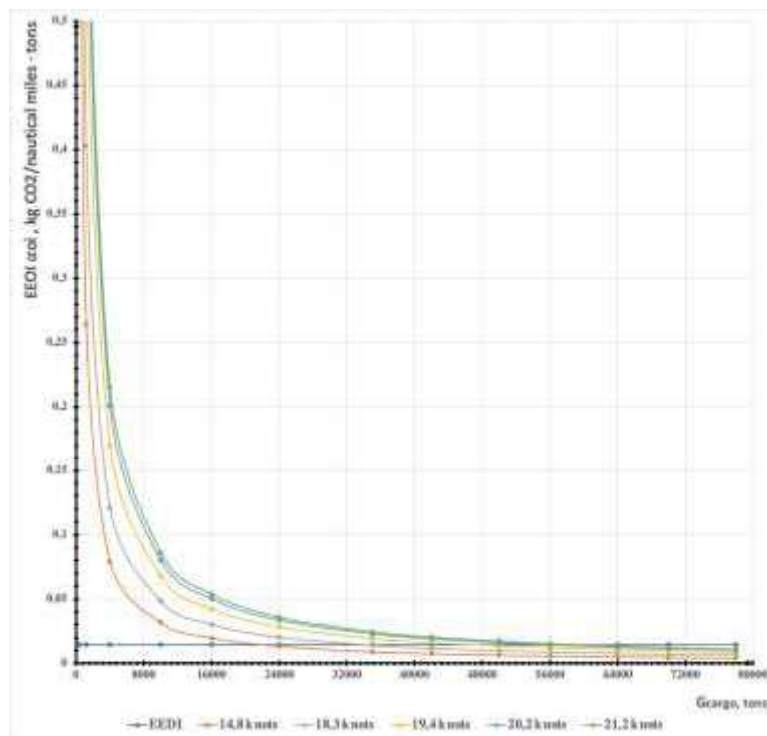


Рис.3. Изменение ЕЕОИ от G_c при V_s 14,8 уз., 18,3 уз., 19,4 уз., 20,2 уз., 21,2 уз. Гиперболы соответственно расположены снизу вверх

(прямая линия – EEDI)

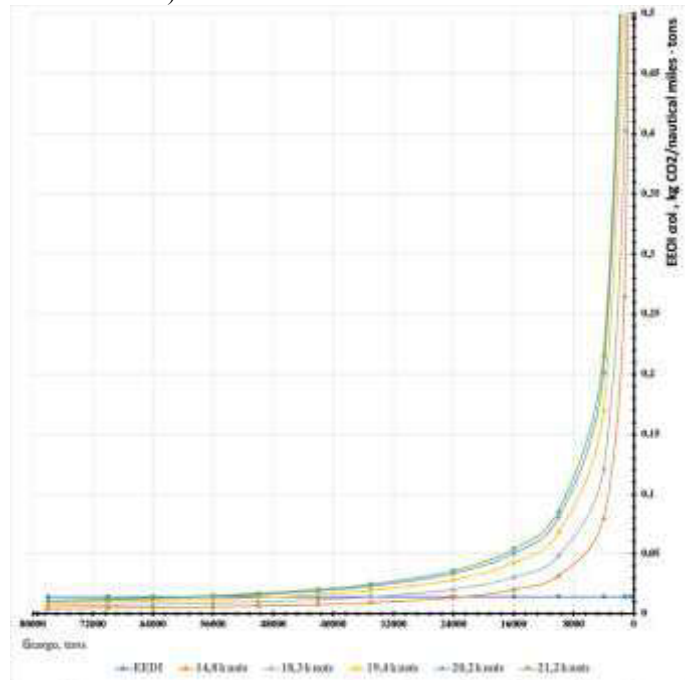


Рис.4. Изменение EEOI от G_c при V_s 14,8 уз., 18,3 уз., 19,4 уз., 20,2 уз., 21,2 уз. Гиперболы соответственно расположены снизу вверх (прямая линия – EEDI)

Зависимость EEOI от V_s описывается сложной зависимостью с максимумом при 4,5 узлах и минимумом при 8,0 узлах (рис. 5).

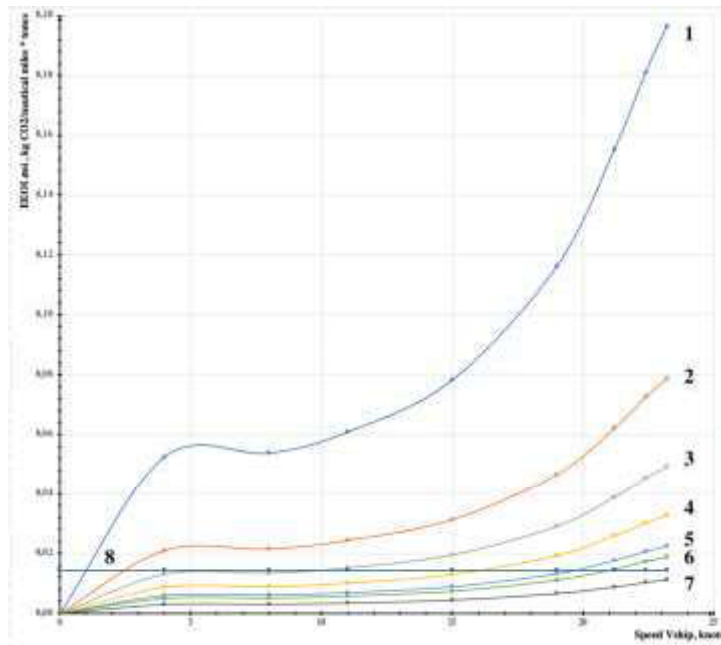


Рис.5. Изменение EEOI от V_s при пройденном пути 500 морских миль G_c , т.: 1 – 4,000 , 2 – 10000 , 3 – 16000 , 4 – 24000 , 5 – 35000 , 6 – 42000 , 7 – 70000 . Линия 8 – EEDI.

Зависимости ЕЕОІ от V_s и G_c приведены на рисунках 6 и рис. 7. На рисунке 6 G_c увеличивалась от 0 до 80000 т. по оси абсцисс, а на рисунке 7 по оси абсцисс G_c уменьшалась от 80000 т до нуля.

Широкий диапазон скоростей – от 0,01 уз. до 24,0 уз. учитывался для анализа характерной зависимости ЕЕОІ от V_s , оставляя при этом пройденный путь и G_c постоянными.

При увеличении V_s от 0,01 уз. до 24,0 уз. были определены IV зоны (рис.5).

Зависимость ЕЕОІ от G_c при постоянных значениях V_s и пройденного пути перепада описана гиперболами (рис.6 и рис.7). При максимальных G_c (60 000 т и более) значения ЕЕОІ стремятся к ЕЕДІ, а при приближающихся к нулю значениях G_c – к бесконечности.

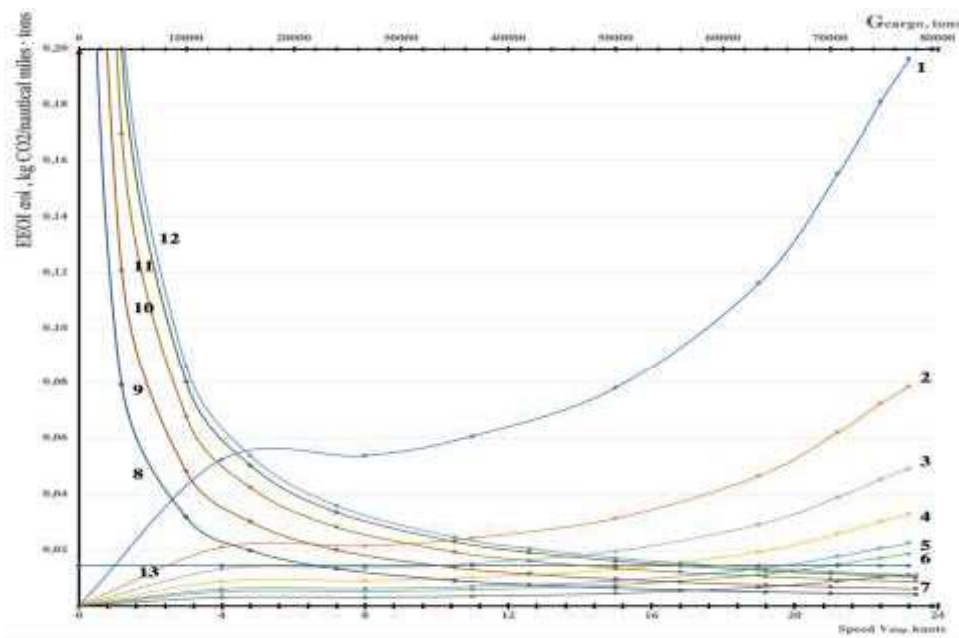


Рис.6. Изменение ЕЕОІ от V_s (кривые 1 – 4000 т, 2 – 10000 т, 3 – 16000 т, 4 – 24000 т, 5 – 35000 т, 6 – 42000 т, 7 – 70000 т) и G_c (8 – 14,8 уз., 9 – 18,3 уз., 10 – 19,4 уз., 11 – 20,2 уз., 12 – 21,2 уз), линия 13 – ЕЕДІ

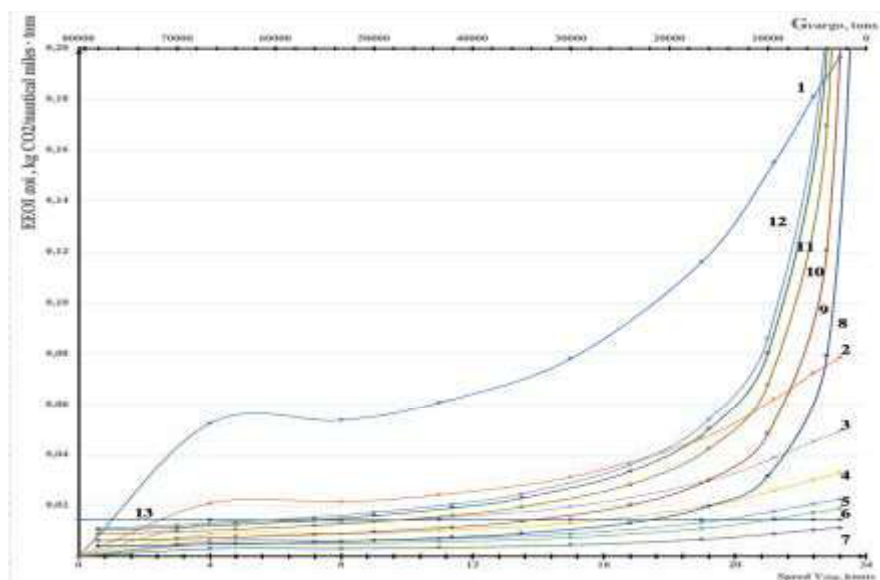


Рис.7. Изменение EEOI от V_s (кривые 1 – 4000 т, 2 – 10000 т, 3 – 16000 т, 4 – 24000 т, 5 – 35000 т, 6 – 42000 т, 7 – 70000 т) и G_c (8 – 14,8 уз., 9 – 18,3 уз., 10 – 19,4 уз., 11 – 20,2 уз., 12 – 21,2 уз.), линия 13 – EEDI

На основании вышеприведенных исследований была проведена оптимизация эффективности судна / рейса при совокупном изменении V_s и G_c (рис.8).

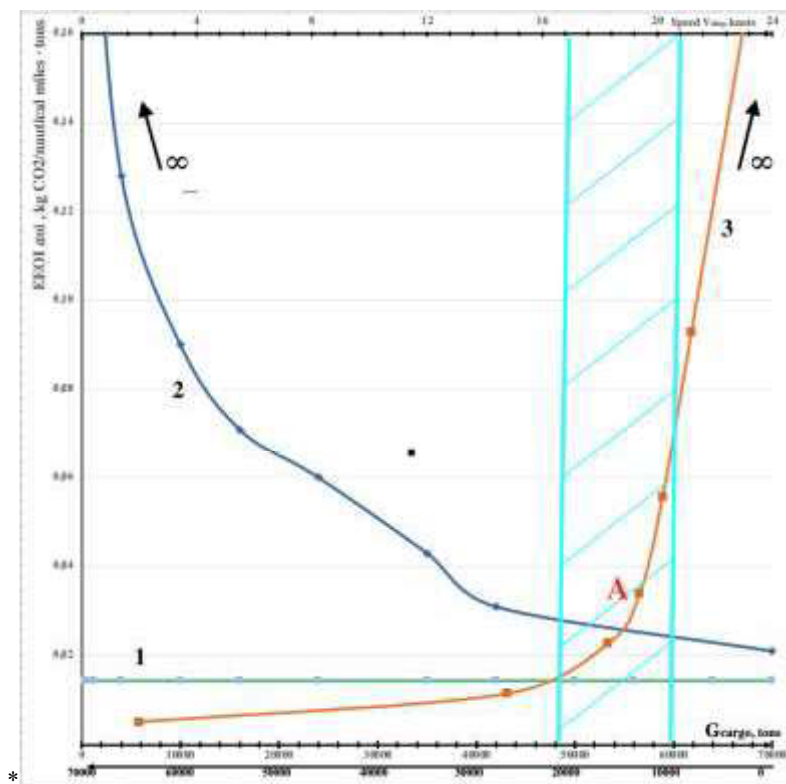


Рис.8. Область минимизации EEOI (заштрихованная область А)

Обсуждение полученных результатов

Точка пересечения А линий 2 и 3, приведенных на рисунке 8, характеризует собой минимальное значение EEOI судна/рейса и, соответственно, минимальный КУВН G_{min} , мт, и минимальную эмиссию диоксида углерода- $3,114 \times G_{min}$, мт.

Согласно методике, приведенной в работе [13], определена зона минимизации EEOI – зона А. В результате анализа и обобщения экспериментальных данных можно сделать следующий вывод: минимальная область значений эмиссии CO_2 EEOI достигается при V_s в пределах 16,2-22,4 узлов, G_c груза 48 000-60 000 мт, пройденный путь не лимитируется.

Морской транспорт, как составная доля техногенных систем, приводит к негативным последствиям, таким как:

- дефицит природного O_2 , содержащегося в атмосферном воздухе;
- исчерпывание невозобновимого сырья;
- снижение издержек на осуществление логистических маршрутов;
- интенсивное загрязнение и разрушение морских экосистем;
- интенсивное негативное изменение климата на планете.

Не так давно была опубликована работа [14], в которой впервые было предложено использовать синтетический O_2 на судне в качестве окислителя углеводородного носителя вместо атмосферного воздуха, что благоприятно способствует снижению КУВН и выбросов CO_2 .

Показано, что в случае использования O_2 вместо воздуха, КПД совершенной работы увеличивается на 25%, составляя при этом 50%, в то время, как на воздухе максимальные показатели, которых можно добиться, составляют только 25%. То есть вклад в КПД SPP увеличивается в два раза. Также полностью исключается эмиссия оксидов азота с отработанными газами SPP.

Задача, заложенная в предлагаемом нами новом техническом решении есть следующей:

- замена воздуха, применяемого во всех окислительных процессах, в частности, в судовых энергетических установках, на синтетический O_2 ;
- создание новой технологии получения синтетического O_2 из CO_2 и H_2O .

Авторы данного способа нацелены на использование H_2O и / или CO_2 в качестве первоначального сырья для получения O_2 [14].

Заключение

Ключевая задача данного исследования, целью которого было определение области наименьших значений выбросов CO_2 EEOI во время реального морского перехода от основных параметров (V_s , G_c и пройденного пути) — решена. Мы считаем, что области и направления, в которых могут проводиться главные последующие исследования, являются следующие:

- 1) расширение спектра типов судов и морских переходов с последующим их исследованием;
- 2) анализ гидрометеорологических условий, которые могут влиять на изменение EEOI;
- 3) технико-экономические обоснования, касающиеся создания многопрофильных / многоцелевых судов;
- 4) полная замена атмосферного воздуха на синтетический O_2 ;
- 5) создание принципиально новых научных направлений получения синтетического O_2 с использованием сырья с большой кратностью запаса.

Список литературы:

1. Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency Operational indicator (EEOI). — London: IMO, 2009. — 75 p.
2. MEPC 65/INF.17 IMO Model Course on Energy-Efficient Operation of Ships. — London: World Maritime University, 2013. — 61 p.
3. *Пивоваров Л. А.* Разработка плана управления энергоэффективностью судна (ПУЭЭС) для танкеров / Л. А. Пивоваров // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте». — MINTT-2013. — Херсон: ИЦ ХГМА, 2013. — Т. 1. — С. 73–77.
4. Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP): SEEMP template for owners and operators. — London: Lloyd's Register, 2012. — 12 p.
5. *Rehmatulla N.* The Implementation of Technical Energy Efficiency and CO2 Emission Reduction Measures in Shipping / N. Rehmatulla, J. Calleya, T. Smith // *Ocean Engineering*. — 2017. — Vol. 139. — Pp. 184–197. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.
6. *Winnes H.* Reducing GHG emissions from ships in port areas / H. Winnes, L. Styhre, E. Fridell // *Research in Transportation Business & Management*. — 2015. — Vol. 17. — Pp. 73–82. DOI: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.
7. MARPOL Consolidated edition 2011: Articles, Protocols, Annexes and Unified Interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the 1978 and 1997 Protocols. — London: CPI Group (UK) Ltd, 2011. — 448 p.
8. Иванченко А.А., Петров А.П., Г. Е. Живлюк Г.Е., ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУДОВ И РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 111. — № 3. — С. 103–112. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-103-112.
9. Покусаев М. Н., В. Г. Букин В. Г., Абачараев И. М., Ермолаев В. П. ВЛИЯНИЕ ВИДА СУДОВОГО ТОПЛИВА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТАНКЕРА-ГАЗОВОЗА. Астрахань: Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2019. № 1, с. 78-88. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-78-88.
10. *Леонов В. Е.* Исследование влияния параметров морского перехода на операционный коэффициент энергетической эффективности судна / В. Е. Леонов, В. В. Тимошенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 390–401. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-390-401.
11. *Zhmur V. N.* Ways to increase economic energy efficiency and environmental safety of sea freight / V. N. Zhmur, V. Ye. Leonov // *American Scientific Journal*. — 2018. — Vol. 19. — Pp. 15–21.
12. *Леонов В. Е.* Пути повышения эффективности морских грузоперевозок: монография / В. Е. Леонов, В. И. Дмитриев. — М.: Моркнига, 2019. — 299 с.
13. *Леонов В.Е.* Исследования по определению области минимизации операционного коэффициента энергетической эффективности судна / В. Е. Леонов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 910-919. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-910-919
14. *Леонов В. Е.* Использование кислорода в качестве окислителя судового топлива вместо воздуха для судовых энергетических установок / В. Е. Леонов, А. А. Гуров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 583–590. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590.

**RESEARCH ON EEOI PARAMETRIC CONNECTION OF A SHIP
DURING THE REAL VOYAGE CONDUCTION**

Valeriy Ye. Leonov

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5590-8807>

Oleksandr D. Serdyuk

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5122-1821>

Abstract. The round-the-world transition of m/v Katherine ship is considered. The aim of this work is to minimize the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) of the vessel, and, accordingly, to minimize the ship's fuel consumption and carbon dioxide emission depending on the parameters of sea transition: V_s , mass of transported cargo, and the distance of the passage. For specifically selected ship power plant (SPP), the parametric dependence of V_s and fuel consumption on the share of used power is determined by calculation method. The Energy Efficiency Design Index (EEDI) is determined by the model given in Resolution MEPC.212(63). The EEOI is determined depending on the ship fuel consumption, the carbon concentration in the ship's fuel with the main parameters accepted for transition V_s , transported cargo mass, the sea passage distance. Calculation studies are conducted in a wide range of sea transition parameters – transition distance within 200 to 2,800 nm, the V_s from 0.01 to 24.0 knots, cargo mass ranging within 4,000 to 70,000 tons.

The work defines the area of minimization for values EEOI, that is maximally approaching to the ship's EEDI, depending on changing sea transition parameters.

It has been determined that the EEOI has four zones depending on V_s . The dependence of the EEOI on the cargo mass at the constant values of V_s and the sea passage distance can be described by hyperbola. At the transported cargo mass within the range of 60,000-70,000 t the EEOI value tends to the value of EEDI, and at the values of the cargo mass approaching zero - to infinity. The sea passage distance does not affect the EEOI value.

An important component of these studies is the issue of the atmospheric air complete replacement by the synthetic oxygen, which will lead to a significant reduction in marine fuel consumption and, consequently, a reduction in carbon dioxide emissions, and the non-ballast sea passages organization.

Keywords: Energy Efficiency Design Index, Energy Efficiency Operational Indicator, type of vessel, sea passage, speed, mass, distance, minimization, consumption, emission, marine fuel

References:

1. Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency Operational indicator (EEOI). London: IMO, 2009.
2. MEPC 65/INF.17 IMO Model Course on Energy-Efficient Operation of Ships. London: World Maritime University, 2013.
3. Pivovarov, L. A. "Razrabotka plana upravleniya energoeffektivnost'yu sudna (PUEES) dlya tankerov." Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye informatsionnye i innovatsionnye tekhnologii na transporte» — MINTT-2013. Vol. 1. Kherson: ITS KhGMA, 2013. 73–77.
4. Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP): SEEMP template for owners and operators. London: Lloyd's Register, 2012.
5. Rehmatulla, Nishatabbas, John Calleya, and Tristan Smith. "The implementation of technical energy efficiency and CO2 emission reduction measures in shipping." *Ocean Engineering* 139 (2017): 184–197. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.
6. Winnes, Hulda, Linda Styhre, and Erik Fridell. "Reducing GHG emissions from ships in port areas." *Research in Transportation Business & Management* 17 (2015): 73–82. DOI: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.
7. MARPOL Consolidated edition 2011: Articles, Protocols, Annexes and Unified Interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the 1978 and 1997 Protocols. London: CPI Group (UK) Ltd, 2011.
8. Ivanchenko A. A. "Energy efficiency of ships and regulation of greenhouse gas emissions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3.31(2015): 103-112. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-103-112
9. Pokusaev M. N., Bukin V. G., Abacharaev I. M., Ermolaev V. P. Influence of fuel type on energy efficiency of a gas carrier power plant. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;1:78-88. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-78-88.
10. Leonov, Valery Ye., and Vladislav V. Timoshenko. "Investigation of the impact of marine transition parameters on the operational coefficient of energy efficiency of the ship." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.2 (2018): 390–401. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-390-401.

11. Zhmur, V. N., and V. Ye. Leonov. "Ways to increase economic energy efficiency and environmental safety of sea freight." *American Scientific Journal* 19 (2018): 15–21.
12. Leonov, V. E., and V. I. Dmitriev. *Puti povysheniya effektivnosti morskikh gruzoperevozok. Monografiya. M.: MORKNIGA, 2019.*
13. Leonov, Valeriy Ye. "Research to determine the minimization area of the operational coefficient of the energy efficiency of the ship." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): 910–919. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-910-919.
14. Leonov, Valeriy Ye., and Anatolii A. Gurov. "Using oxygen instead of air as an oxidizer of marine fuel for ship power plants." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.3 (2020): 583–590. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Леонов Валерий Евгеньевич – доктор технических наук, профессор
Херсонская государственная морская академия, 73000, Херсон, Украина, проспект Ушакова, 20, e-mail: leonov_v_e@i.ua

Valeriy Ye. Leonov – Dr. of Technical Sciences, professor
Kherson State Maritime Academy, 73000, Kherson, Ukraine, Ushakova avenue, 20

Сердюк Александр Дмитриевич – магистр по специальности «Судовождение», морской и речной транспорт
Херсонская государственная морская академия, 73000, Херсон, Украина, проспект Ушакова, 20, e-mail: alexanderserdyuk@ukr.net

Oleksandr D. Serdyuk – Master's Degree in Navigation, River and Marine Transport
Kherson State Maritime Academy, 73000, Kherson, Ukraine, Ushakova avenue, 20

Статья поступила в редакцию 30.10.2020 г.