

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-910-919

RESEARCH TO DETERMINE THE MINIMIZATION AREA OF THE OPERATIONAL COEFFICIENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE SHIP

V. Ye. Leonov

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

The actual round voyage of the vessel “Warnow Dolphin” along the route Miami, USA – Manzanillo, Panama – Guayaquil, Ecuador – Callao, Peru is described in the paper. The goal of the paper is to minimize the Operational Energy Efficiency Ratio of the ship, and, accordingly, the consumption of ship fuel and carbon dioxide emissions depending on the parameters of the sea passage: vessel speed, mass of the transported cargo and the transition distance. For specifically chosen ship power plant (SPP), the parametric dependence of the ship’s speed and ship fuel consumption on the share of used power plant is determined by calculation. The Energy Efficiency Design Index (EEDI) is determined on the basis of the model given in Resolution MEPC.212 (63). The Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) is determined depending on the ship fuel consumption, the carbon concentration in the ship’s fuel with the main parameters adopted for the transition — the ship’s speed, the mass of transported cargo, the distance of sea passage. Calculation studies are carried out in a wide range of parameters of the sea passage with the transition distance ranging from 1,200 to 3,000 NM, the vessel speed ranging from 0.01 to 27.0 knots, the cargo mass ranging from 1,200 to 20,000 tons.

The purpose of the work is to determine the region of minimum values of the EEOI (the area of minimization of the EEOI), that is as close as possible to the EEDI of the vessel, depending on the changing parameters of the sea transition.

For the first time, it was found that the EEOI, depending on the ship’s speed, has four zones: the first zone is 0.01-0.08 knots, the EEOI value increases, the second zone is 0.08-1.8 knots, the value passes through the maximum, the third zone is 1, 8-21 knots, the EEOI value is reduced, with the sharpest decrease in the region of 1.8-7.0 knots, the fourth zone is 21-27 knots and above, where the EEOI value increases sharply. The dependence of EEOI on the cargo mass at the constant values of ship speed and distance of the sea transition can be described by hyperbole. With the mass of transported cargo in the range of 7 000–18 000 tons, the values of EEOI tend to the value of EEDI, and for the values of the load mass approaching zero, the values of EEOI tend to infinity.

The distance of the sea transition does not affect the value of the EEOI.

According to a specially developed technique, according to the data of the conducted research, the area of minimization of the EEOI is established.

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

For citation:

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 admiralа S. O. Makarova* 11.5 (2019): 910–919. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-910-919.

УДК 656.61.052(075.8)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЛАСТИ МИНИМИЗАЦИИ ОПЕРАЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДНА

В. Е. Леонов

Херсонская Государственная морская академия, Херсон, Украина

Рассмотрен реальный переход судна «Warnow Dolphin» по маршруту Майами, США – Манзанилло, Панама – Гуаякиль, Эквадор – Каллао, Перу и обратно. Цель работы — минимизировать операционный коэффициент энергетической эффективности судна и, соответственно, расход судового топлива и эмиссию диоксида углерода в зависимости от параметров морского перехода: скорость судна, масса перевозимого груза, дистанция перехода. Для конкретно выбранной судовой энергетической установки расчетным путем определена параметрическая зависимость скорости судна и расхода судового топлива от доли используемой мощности СЭУ. Конструктивный коэффициент энергетической эффективности судна определяется по модели, приведенной в Резолюции МЕРС.212(63). Операционный коэффициент энергетической эффективности судна рассчитывался в зависимости от расхода судового топлива, концентрации углерода в судовом топливе при принятых на переход основных параметрах: скорости судна, массы перевозимого груза, дистанции морского перехода. Расчетные исследования проводились в широком диапазоне параметров морского перехода — дистанция перехода в пределах 1 200–3 000 морских миль, скорость судна 0,01–27,0 уз, масса груза в пределах 1 200–20 000 т.

Определена область минимальных значений операционного коэффициента энергетической эффективности судна (область минимизации), максимально приближающихся к конструктивному коэффициенту энергетической эффективности судна, в зависимости от изменяющихся параметров морского перехода. Впервые установлено, что операционный коэффициент энергетической эффективности судна в зависимости от скорости судна имеет четыре зоны: первая зона 0,01–0,08 уз — значение операционного коэффициента энергетической эффективности судна увеличивается, вторая зона 0,08–1,8 уз — значение проходит через максимум, третья зона 1,8–21 уз — значение снижается, причем наиболее резко в области 1,8–7,0 уз, четвертая зона в области от 21–27 уз и выше — происходит резкое увеличение значения этого коэффициента. Зависимость операционного коэффициента энергетической эффективности судна от массы груза при постоянных значениях скорости судна и дистанции морского перехода может быть описана гиперболой. Установлено, что при массе перевозимого груза в пределах 7 000–18 000 т значения операционного коэффициента энергетической эффективности судна стремятся к величине конструктивного коэффициента энергетической эффективности судна, а при значениях массы груза, приближающихся к нулю, — к бесконечности. Дистанция морского перехода не оказывает влияние на значение операционного коэффициента энергетической эффективности судна. По данным проведенных исследований, установлена область минимальных значений операционного коэффициента энергетической эффективности судна и область его минимизации.

Ключевые слова: конструктивный операционный коэффициент, энергетическая эффективность судна, тип судна, морской переход, скорость, масса, дистанция, минимизация, расход, эмиссия, судовое топливо.

Для цитирования:

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.

Введение (Introduction)

До последнего времени морские грузоперевозки осуществлялись по принципу доставки груза заказчику в сжатые сроки, не учитывая расход судового топлива и загрязнение морской, окружающей среды. В последнее время Международной морской организацией (ММО) приняты Резолюции, направленные на снижение расхода судового топлива — эмиссии диоксида углерода — основного компонента «парниковых» газов [1]–[5], а также снижение выбросов сернистых соединений с отработанными газами судовых энергетических установок [6], [7]. Активно ведутся научно-исследовательские и опытные работы по очистке отработанных газов судовых энергетических установок, которые можно разделить на два направления:

- 1) скрубберная очистка [8]–[12];
- 2) каталитическая нейтрализация [13], [14], а также каталитическая очистка в сочетании с утилизацией теплоты отработанных газов СЭУ [15], [16].

В работах [17], [18] в условиях реального морского (трансокеанского) перехода установлена параметрическая связь операционного коэффициента энергетической эффективности судна (ОКЭЭС) от скорости судна, массы перевозимого груза и дистанции перехода. В работе [19] спектр типов судов был значительно расширен и показано, что независимо от типов судов

ОКЭЭС в зависимости от скорости, массы груза и дистанции перехода описывается одинаковыми закономерностями. Однако в литературе до настоящего времени отсутствует такой важный аспект, как определение минимального значения ОКЭЭС при одновременном изменении параметров перехода: скорости судна, массы перевозимого груза, дистанции перехода, гидрометеорологических условий.

Целью настоящей работы является определение минимальных значений ОКЭЭС (области минимизации ОКЭЭС) при одновременном изменении параметров перехода: скорости судна, массы перевозимого груза, дистанции перехода.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Рассмотрен реальный переход в районе Атлантического и Тихого океана в Северной и Южной Америке: Майами, США (27.09.2018) – Манзанилло, Панама (03.10.2018) – Гуаякиль, Эквадор (06.10.2018) – Каллао, Перу (08.10.2018) – Гуаякиль, Эквадор (12.10.2018) – Манзанилло, Панама (15.10.2018) – Майами, США (18.10.2018). Характеристика судна приведена в следующей таблице.

Характеристика судна «Warnow Dolphin»

Название судна	Warnow Dolphin
Флаг	Кипр
Порт регистрации	Лимассол, Кипр
Позывной сигнал	5BTW3
Официальный номер	9395070
Номер ММО	9395070
Классификация	GERMAN LLOYD (GL NO. 111774)
Класс	GL 100 A5 E Container Ship, NAV-O, IW,BWM-F
Владелец судна	MARLOW SHIPMANAGMENT DEUTSHLAND
Год, место постройки	2007, Zhoushan, China
Мощность основного двигателя, кВт	11200 kW
Тип основного двигателя	MAN B&W
Пропеллер (винт)	Controllable Pitch Propeller
Сервисная скорость, уз	19,4 knots
Тип судового топлива	IFO 380\ M 60
Водоизмещение, т	25252.7 metric tons
Дедвейт, т	18,275.5 metric tons
Общий тоннаж, т	15,375 GRT
Чистый тоннаж	5983 GRT
Балластные воды, м ³	Total capacity 6070 m ³
Общая длина, м	166,15 m (LBP — 155,08 m)
Расстояние между перпендикулярами, м	146,6 m
Ширина судна, м	19,5 m
Тип судна	CONTAINER VESSEL
Экипаж	21
Наибольшая глубина, м	14,2 m
Максимальная осадка, м	9,5 m

При выходе судна из порта Майами атмосферное давление составляло 1024 ГПа, сила ветра по шкале Бофорта — пять баллов, направление ветра — юго-восточное, температура возду-

ха — 30 °С, облачность умеренная (2/8), вследствие чего хорошая видимость (на расстоянии более пяти морских миль), состояние моря — слабое волнение (2 балла).

При подходе к порту Манзанилло сила ветра составила пять баллов, наблюдались ливневые осадки на протяжении нескольких часов. Небо было полностью покрыто облаками, видимость ухудшилась, атмосферное давление понизилось до 1017 ГПа. Независимо от этого маршрут не был изменен, скорость судна не была снижена и рейс продолжался в запланированном режиме. На остальной части перехода температура воздуха изменялась в пределах 23–34 °С, сила ветра по шкале Бофорта не превышала 5 баллов, давление повысилось до 1022 ГПа. Облачность была несплошной, осадков не было.

Скорость судна и дистанция морского перехода измерялись с помощью доплер-лага Naviknot 400 Type 4718-DA. Объем загруженного при бункеровке судового топлива определялся с помощью расходомеров, а расход топлива на конкретный переход — по изменению уровня судового топлива в танке.

Результаты (Results)

Изменение скорости судна и, соответственно, расхода судового топлива в зависимости от доли используемой мощности судовой энергетической установки (СЭУ) приведено на рис. 1.

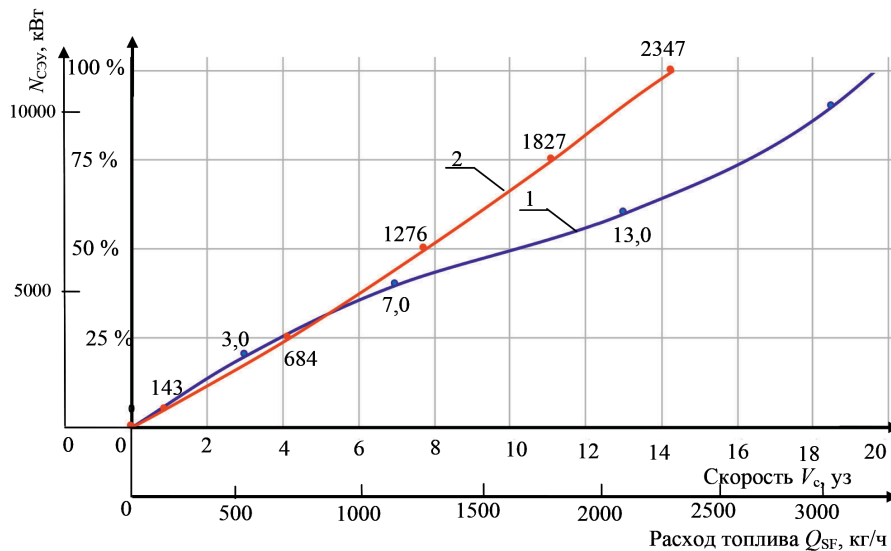


Рис. 1. Изменение скорости судна (кривая 1) и расхода судового топлива (кривая 2) в зависимости от доли используемой мощности СЭУ

Согласно Резолюции ММО МЕРС 65/ INF [2], основным критерием снижения расхода судового топлива и эмиссии диоксида углерода является ОКЭЭС, который определяется отношением массы эмиссии диоксида углерода — основного компонента «парниковых» газов, образующегося при сжигании топлива за переход, к дистанции перехода и массе перевозимого груза.

Расчетные исследования проводились в широком диапазоне параметров морского перехода — дистанция перехода в пределах 1 200–3 000 морских миль, скорость судна — 0,01–1,0 уз и 1,0–27,0 уз (в разных масштабах скорости по оси абсцисс), масса груза в пределах 1 200–20 000 т.

Согласно зависимости, приведенной на рис. 1, при любой скорости судна определяли долю использованной мощности СЭУ и, соответственно, расход судового топлива, который использовался при расчетах ОКЭЭС. Конструктивный коэффициент энергетической эффективности судна

(ККЭЭС) определяли по уравнению: $ККЭЭС = \frac{(1-X)}{100} ab^{-c}$, приведенному в работе [20]. Расчетными исследованиями было установлено, что изменение дистанции морского перехода при неизменных скорости судна и массе груза не оказывает влияния на величину ОКЭЭС.

Зависимость ОКЭЭС от скорости судна и массы перевозимого груза приведена на рис. 2, а, где масса груза увеличивалась от 0 до 20 000 т по оси абсцисс, на рис. 2, б масса груза уменьшалась от 20 000 т до нуля по оси абсцисс. Для того чтобы проследить характер зависимости ОКЭЭС от скорости судна, был принят довольно широкий диапазон скоростей — 1,0–27,0 уз и даже нерелевантный для морской практики судовождения диапазон 0,01–0,09 уз. При этих расчетах дистанция перехода и масса груза оставались постоянными. При увеличении скорости судна от 0,01 уз до 1,0 уз и от 1,0 до 27,0 уз были определены четыре зоны: первая зона — 0,01–0,08 уз — значение ОКЭЭС увеличивается; вторая зона — 0,08–1,8 уз — значение ОКЭЭС проходит через максимум; третья зона — 1,8–21 уз — значение ОКЭЭС снижается, причем наиболее резко в области 1,8–7,0 уз; четвертая зона — в области от 21–27 уз и выше происходит резкое увеличение значения ОКЭЭС.

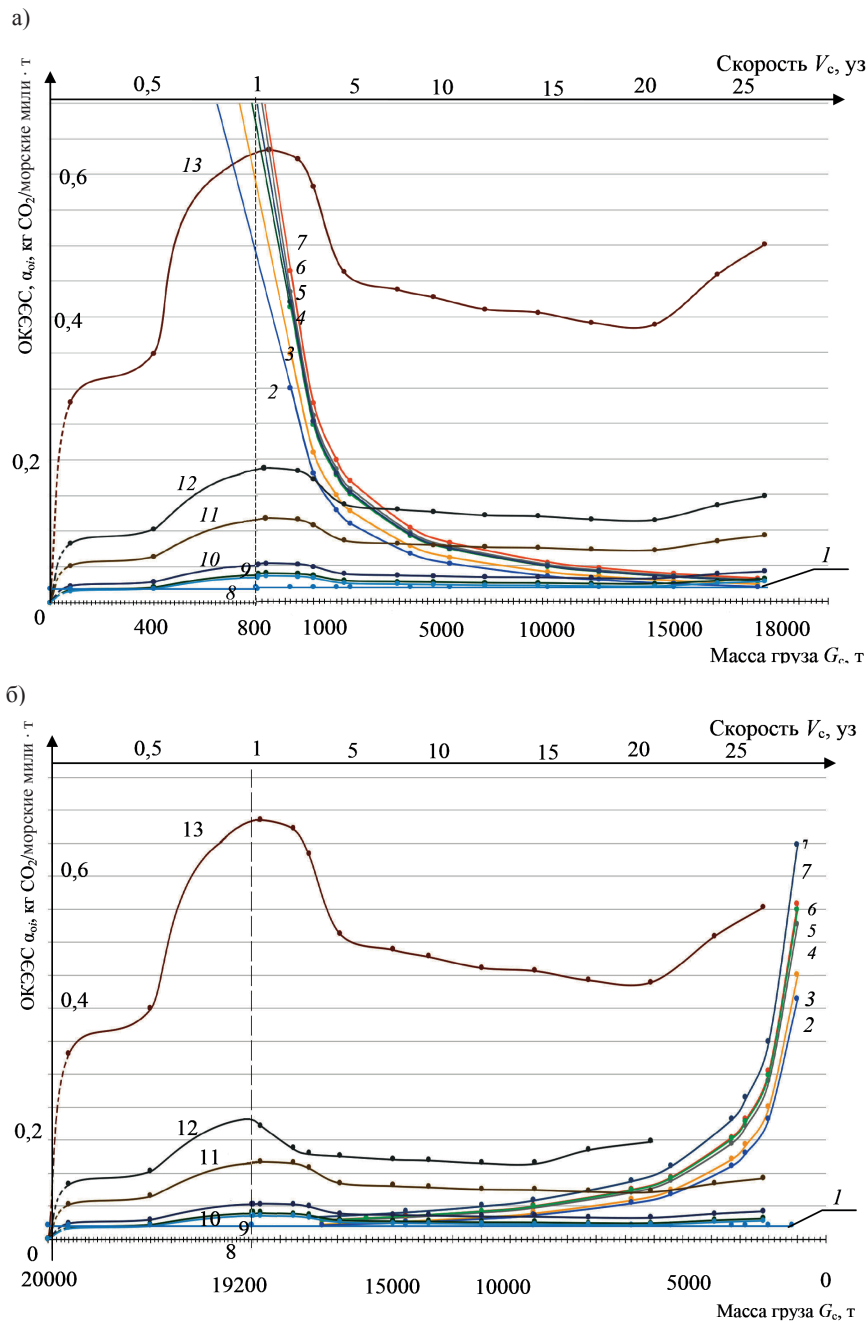


Рис. 2. Зависимость ОКЭЭС от скорости судна, уз: а — кривые 2 — 1,6; 3 — 5,2; 4 — 8,2; 5 — 18,0; 6 — 24,0; 7 — 26,9 уз и массы перевозимого груза, т: кривые 8 — 18 000; 9 — 16 000; 10 — 12 000; 11 — 5420; 12 — 3400; 13 — 1 000 т; б — кривые 2 — 2,5; 3 — 6,1; 4 — 12; 5 — 22; 6 — 24,5; 7 — 28,2 уз и массы перевозимого груза, т: кривые 8 — 18 000; 9 — 16 000; 10 — 12 000; 11 — 5420; 12 — 3400; 13 — 1 000 т; линия 1 — ККЭЭС

Зависимость ОКЭЭС от массы груза при постоянных значениях скорости судна и дистанции морского перехода может быть описана гиперболой (см. рис. 2, б). При максимальных массах перевозимого груза (7 000–18 000 метрических тонн) значения ОКЭЭС стремятся к ККЭЭС, а при значениях массы груза, приближающихся к нулю — к бесконечности. На основании данных, приведенных на рис. 2, б, были построены зависимости суммарных значений ОКЭЭС при одновременном изменении скорости и массы груза (рис. 3).

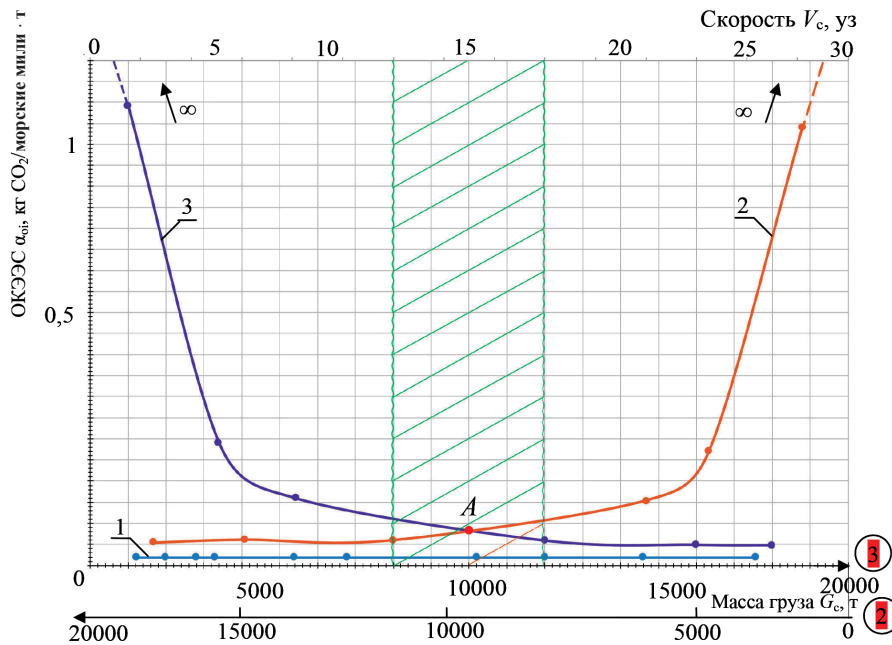


Рис. 3. Область минимизации ОКЭЭС (заштрихованная область А)

Значения точек кривых 2 и 3 (см. рис. 3) представляют собой сумму ОКЭЭС, зависящих отдельно от скорости судна и отдельно от массы перевозимого груза — кривая 2 при изменении массы груза от нуля до 20 000 т (справа налево), кривая 3 — от нуля до 20 000 т (слева направо), линия 1 — ККЭЭС. В указанную сумму не включен ОКЭЭС в зависимости от дистанции перехода, поскольку ранее было установлено, что дистанция перехода не оказывает влияния на величину ОКЭЭС. В точку А пересечения кривых 2 и 3 определяется минимальное значение ОКЭЭС, характеризующее конкретный морской переход для принятого проекта судна и параметров морского перехода. Для практического использования полученных с помощью минимизации ОКЭЭС результатов зону минимизации по оси абсцисс для массы груза (слева направо и наоборот, справа налево) увеличили условно на 20 % (вправо — на 10 % и влево — на 10 %) от точки А, в результате чего получили область минимизации ОКЭЭС для конкретного исследованного морского перехода (см. рис. 3 заштрихованная область А). В качестве практических рекомендаций по результатам выполненных исследований были установлены параметры морского перехода, при которых достигаются минимальные значения ОКЭЭС, а именно: скорость судна — в пределах 12–18 уз, масса перевозимого груза — в пределах 8 000–12 000 т (см. рис. 3).

Обсуждение (Discussion)

На основании проведенных исследований можно сделать важный вывод: в морской практике нельзя допускать балластных переходов, поскольку при массе груза, стремящейся к нулю, значение ОКЭЭС стремится к бесконечности (∞), что оказывает крайне отрицательное влияние на экономические и экологические показатели морского перехода — происходит повышение расхода судового топлива и эмиссии диоксида углерода. В научно-технической литературе имеются весьма ограниченные сведения о комплексных судах, способных осуществлять морские перевозки различных

по физико-химическим свойствам грузов, что исключает балластные невыгодные перевозки. Рассмотрим некоторых их них.

В работе [21] описано судно «OBO–Oil–Bulk–Ore Cargo Vessel», предназначенное для перевозки грузов в жидком и твердом состоянии. Суда типа ОВО являются более гибкими по сравнению с однопрофильными судами, удовлетворяют рыночным условиям и способствуют увеличению прибыли морских грузоперевозок. Суда ОВО были популярны в 1955–1980 гг. Наибольшее судно для указанного периода — M/V «Derbyshire» дедвейтом 180 000 т. Эксплуатация этих судов в течение 25 лет обеспечивала морской индустрии прибыль и эти суда свою роль, безусловно, выполнили. Со временем начали все более ощутимо проявляться недостатки этих судов, особенно в условиях резкого увеличения масштаба и тоннажа морских грузоперевозок. В итоге суда типа ОВО стали непопулярны и в настоящее время на морском флоте функционирует небольшое их количество.

В работе [22] описано судно «PROBO carrier–Product–Ore—Bulk–Oil», которое было первым судном, построенным в 1985 г. южнокорейской компанией «Хюндай», и представляло собой интегральный комплекс, включающий систему автоматизации, компьютерную технику и спутниковые навигационные системы. Эти суда были предназначены для транспортировки широкой номенклатуры грузов, таких как сырая нефть, очищенные и неочищенные продукты, пшеница, уголь, алюминий, цемент, зерно, каустическая сода, лесоматериалы, контейнеры, а также свыше семи разновидностей грузов в жидком состоянии. Основные характеристики этих судов: длина 182,8 м, длина между перпендикулярами 175 м, ширина 31,95 м, дедвейт 49 070 метрических тонн, осадка 13,09 м, грузоподъемность: по зернистым материалам 50 940 м³, по сырой нефти 51 935 м³, 954 TEUs. Судно укомплектовано главным двигателем Hyundai Band W L80 MCE мощностью 12 800 л. с. при оборотах валенчатого вала 83 мин⁻¹, конструкторская сервисная скорость судна 15,3 уз при мощности СЭУ 10 880 л. с. С учетом требований ММО, предъявляемых к снижению расхода судового топлива в данной работе, достигается экономическая эффективность морских грузоперевозок, а параллельно и экологическая — снижение эмиссии диоксида углерода.

В качестве рекомендаций в работе [19, с. 248] предлагается следующее:

«1. На существующих судах необходимо:

- 1.1. Определить и обеспечить минимальные значения ОКЭЭС морских грузоперевозок;
- 1.2. Исключить балластные морские переходы.

2. Подготовить техническую и экономическую базу для разработки многопрофильных многоцелевых судов и их реализации на флоте».

На танкерах и химогазовозах трудно решить пп. 1.2, вместе с тем в данном исследовании проработан вопрос применительно к танкерному флоту в части реализации встречных морских грузоперевозок: «нефть, нефтепродукты ↔ природная пресная вода» для регионов, обладающих, с одной стороны, значительными запасами углеводородного сырья, а с другой — испытывающих существенный дефицит природной и пресной воды.

Заключение (Conclusion)

Главная задача исследования, целью которого является определение области минимальных значений ОКЭЭС реального морского перехода в зависимости от основных параметров, изменяющихся в процессе этого перехода, — решена. Основные направления дальнейших исследований могут быть сфокусированы в следующих областях:

- 1) расширение спектра исследований разных типов судов и морских переходов;
- 2) исследование влияния параметров гидрометеорологических условий на изменение ОКЭЭС;
- 3) проведение технико-экономических обоснований по созданию многопрофильных, многоцелевых судов.

В экспериментальной части работы принимал участие курсант Херсонской Государственной морской академии А. Д. Сердюк.

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. Paulsrud H. M.J. A Practical Guide to Wärtsilä Scrubber Systems / H. M.J. Paulsrud // Journal of the JIME. — 2015. — Vol. 50. — Is. 3. — Pp. 40–42. DOI: 10.5988/jime.50.315.
9. Tran T. A. Research of the Scrubber Systems to Clean Marine Diesel Engine Exhaust Gases on Ships / T. A. Tran // Journal of Marine Science: Research & Development. — 2017. — Vol. 7. — Is. 6. — Pp. 243. DOI: 10.4172/2155-9910.1000243.
10. Carnival Corporation's Exhaust Gas Cleaning Technology installed on 60 percent of fleet [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.prnewswire.com/news-releases/carnival-corporations-exhaust-gas-cleaning-technology-installed-on-60-percent-of-fleet-300413964.html> (дата обращения: 20.04.2018).
11. Carnival Corporation & PLC. Sustainability [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.carnivalcorp.com/phoenix.zhtml?c=140690&p=irol-sustainability> (дата обращения: 20.04.2018).
12. Carnival committed to EGCS as its 2020 compliance solution [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ibia.net/carnival-committed-to-egcs-as-its-2020-compliance-solution/> (дата обращения: 20.04.2018).
13. Laursen A. Availability of elements for heterogeneous catalysis: Predicting the industrial viability of novel catalysts / A. Laursen, J. Sehested, Ib. Chorkendorff, P. C. K. Vesborg // Chinese Journal of Catalysis. — 2018. — Vol. 39. — Pp. 16–26. DOI: 10.1016/S1872-2067(17)62979-6.
14. Леонов В. Е. Каталитическая очистка отработанных газов в судовых энергетических установках / В. Е. Леонов, А. Д. Сердюк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 1015–1024. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-1015-1024.
15. Леонов В. Е. Пути повышения энергетической эффективности и экологической безопасности морских грузоперевозок / В. Е. Леонов, М. В. Чепок, Р. А. Дробитко / XI Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». — Болгария, Варна: Technical University, 2015. — Vol. 2. — Pp. 87–93.
16. Леонов В. Е. Исследование и разработка эффективной технологии защиты воздушного бассейна при эксплуатации судов / В. Е. Леонов, А. Д. Сердюк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 4. — С. 770–782. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-770-782.
17. 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.
18. 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.
19. Леонов В. Е. Пути повышения эффективности морских грузоперевозок: монография / В. Е. Леонов, В. И. Дмитриев. — М.: Моркнига, 2019. — 299 с.

20. Леонов В. Е. Современные информационные технологии обеспечения безопасности судоходства и их комплексное использование: монография / В. Е. Леонов, В. И. Дмитриев, О. М. Безбах, А. А. Гуров, В. Б. Сус, В. Ф. Ходаковский; под ред. проф. В. Е. Леонова. — Херсон: ИЦ ХГМА, 2014. — 324 с.

21. Anand N. Ontology-based multi-agent system for urban freight transportation / N. Anand, R. van Duin, L. Tavasszy // *International Journal of Urban Sciences*. — 2014. — Vol. 18. — Is. 2. — Pp. 133–153. DOI: 10.1080/12265934.2014.920696

22. Bhusiri N. The trade-off between fixed vehicle costs and time-dependent arrival penalties in a routing problem / N. Bhusiri, A. G. Qureshi, E. Taniguchi // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. — 2014. — Vol. 62. — Pp. 1–22. DOI: 10.1016/j.tre.2013.12.003.

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. Paulsrud, Heidi MJ. “A Practical Guide to Wärtsilä Scrubber Systems.” *Journal of the JIME* 50.3 (2015): 40–42. DOI: 10.5988/jime.50.315.

9. Tran, T. A. “Research of the Scrubber Systems to Clean Marine Diesel Engine Exhaust Gases on Ships.” *Journal of Marine Science: Research & Development* 7.6 (2017): 243. DOI: 10.4172/2155-9910.1000243.

10. Carnival Corporation’s Exhaust Gas Cleaning Technology installed on 60 percent of fleet. Web. 20 April 2018 <<https://www.prnewswire.com/news-releases/carnival-corporations-exhaust-gas-cleaning-technology-installed-on-60-percent-of-fleet-300413964.html>>.

11. Carnival Corporation & PLC. Sustainability. Web. 20 April 2018 <<http://www.carnivalcorp.com/phoenix.zhtml?c=140690&p=irol-sustainability>>.

12. Carnival committed to EGCS as its 2020 compliance solution. Web. 20 April 2018 <<https://ibia.net/carnival-committed-to-egcs-as-its-2020-compliance-solution/>>.

13. Laursen, Anders B. “Availability of elements for heterogeneous catalysis: Predicting the industrial viability of novel catalysts.” *Chinese Journal of Catalysis* 39 (2018): 16–26. DOI: 10.1016/S1872-2067(17)62979-6

14. Leonov, Valeriy Ye., and Alexander D. Serdyuk. “The catalytic neutralization of exhaust gases in ship power plants.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.5 (2018): 1015–1024. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-1015-1024.

15. Leonov, V. Ye., M. V. Chepok, and R. A. Drobitko. “Puti povysheniya ehnergeticheskoy ehffektivnosti i ehkologicheskoy bezopasnosti morskikh gruzoperevozok.” *XI Mezhdunarodnaya konferenciya «Strategiya kachestva v promyshlennosti i obrazovanii»*. Vol. 2. Bolgariya, Varna: Technical University, 2015. 87–93.

16. Leonov, Valeriy Ye., and Alexander D. Serdyuk. “Research and development of effective technology for air basin protection while ship operation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.4 (2018): 770–782. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-770-782.

17. 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.

18. 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.

19. Leonov, V. E., and V. I. Dmitriev. *Puti povysheniya effektivnosti morskikh gruzoperevozok. Monografiya*. M.: MORKNIGA, 2019.

20. Leonov, V. E., V. I. Dmitriev, O. M. Bezbakh, A. A. Gurov, V. B. Sys, and V. F. Khodakovskii. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti su-dokhodstva i ikh kompleksnoe ispol'zovanie: Monografiya*. Edited by V. E. Leonov. Kherson: ITs KhGMA, 2014.

21. Anand, Nilesh, Ron van Duin, and Lori Tavasszy. "Ontology-based multi-agent system for urban freight transportation." *International Journal of Urban Sciences* 18.2 (2014): 133–153. DOI: 10.1080/12265934.2014.920696.

22. Bhusiri, Narath, Ali Gul Qureshi, and Eiichi Taniguchi. "The trade-off between fixed vehicle costs and time-dependent arrival penalties in a routing problem." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 62 (2014): 1–22. DOI: 10.1016/j.tre.2013.12.003.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Leonov, Valeriy Ye. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Kherson State Maritime Academy
20 Ushakova Avenue, Kherson, 73000, Ukraine
e-mail: leonov_v_e@i.ua

Статья поступила в редакцию 2 августа 2019 г.

Received: August 2, 2019.