



НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування

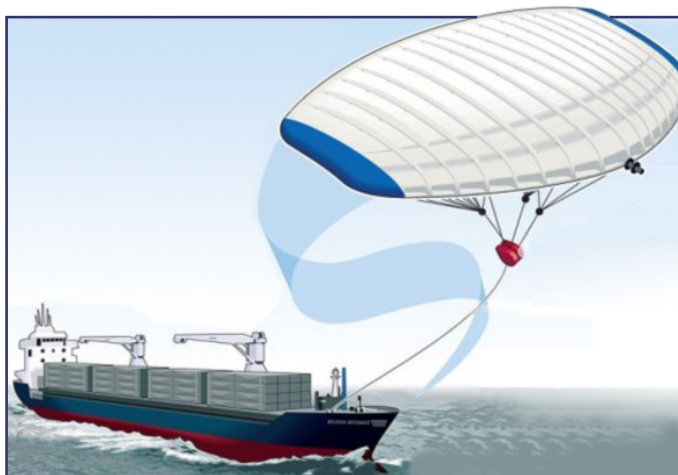
**СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА:
СТАН ТА ПРОБЛЕМИ**

МАТЕРІАЛИ

**ХІ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**присвяченої пам'яті професора
Горбова Віктора Михайловича**

07–08 листопада 2023 р.



Миколаїв ■ 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування»
Одеський національний морський університет
Херсонська державна морська академія
ДП Науково-Виробничий Комплекс Газотурбобудування
«Зоря»-«Машпроект»
Kielce University of Technology (Poland)
Jiangsu University of Science and Technology (China)
Batumi Navigation Teaching University (Georgia)
Bureau Veritas (Marine & Offshore) (Canada)

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА ПРОБЛЕМИ

**XI Міжнародна науково-технічна конференція
*присвячується пам'яті професора Горбова Віктора Михайловича***

07-08 листопада 2023 року

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, вул. Героїв України, 9
Машинобудівний навчально-науковий інститут
вул. Кузнецька, 5*

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Миколаїв
Видавець Торубара В.В.
2023

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

Бондаренко М.С. Світлий пам'яті Віктора Михайловича Горбова присвячується	3
Volodymyr Lopatnov Climate-Friendly Technologies In The Canadian Shipping Industry: Current Implementation And Charting A Path To 2030	5
R. Varbanets, D. Minchev, I. Savelieva, A. Rodionov, T. Mazur, S. Psariuk, V. Bondarenko, N. Aleksandrovska Improved Methods for Diagnosing Issues in Marine Diesel Engines to Meet IMO Decarbonization Standards	7
Чередніченко О.К., Личко Б.М. , Сучасний стан та шляхи підвищення енергоефективності суднових енергетичних установок	10
Кузнецов В.В. , Підвищення ефективності і компактності енергетичних установок інтенсифікацією теплопередачі в їх елементах	16
Чернявський В.В., Акімов О.В., Носов П.С. , Етапи імплементації фахової морської платформи OTG OLP та природничо-наукової LABSTER в освітній процес Херсонської Державної Морської Академії	18
Коробко В.В., Безушко С.О., Стельмах О.І. , Концептуальний проект гібридної ЕУ контейнеровозу PERFECt III	22

СЕКЦІЯ №1. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Дощенко Г.Г., Наговський Д.А. , Підвищення надійності суднових енергетичних систем	25
Шемчук В.О. , Використання роторних вітрів в пропульсивному комплексі рудовоза «SAO DIANA»	28
Шалапко Д.О. , Інтеграція водневих систем до суднових енергетичних комплексів	31
Бутко В.П., Білоусов Є.В. Аналіз відмов головних двигунів типу MAN-B&W 9L21/31 в процесі їх експлуатації на судах проекту 17620	35
Шостак В.П., Самохвалов В.С., Личко Б.М. Енергетика, паливо й екологія транспортних суден	38
Сербін С.І., Діасамідзе Б.Т., Шмарков О.А. Можливості застосування водневого палива при роботі камери згоряння гібридної газопарової установки	41
Діасамідзе Б. Т., Шмарков О.А. Можливості використання газотурбінних двигунів у морському транспорті	44
Худяков І.В., Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Поліщук О.В., Літвінов М.Є. Протидія низькотемпературній корозії гільзи циліндрів суднових двигунів	49
Казарєзов А.Я. , Оцінка потужності головного двигуна моторної яхти	52
Чередніченко О.К., Коробейнікова Н.В., Басов О.Ю. , Критерії вибору складу енергокомплексу плавучої електростанції	55
Маховський А.А. , Модернізація енергетичної установки судна CON-RO «EL COQUI»	57
Костюк А.І. , Розробка гібридної пропульсивної установки LNG танкера «BRITISH PARTNER»	62
Семенов М.М., Шаповалов Ю.О., Качмар А.С., Попенко М.І. Дослідження можливості використання теплонасосних установок в стічних системах морських суден	66
Орлов М.В. , Розробка системи повітряного змащення корпусу судна газовозу «BW TULIP»	69
Єніфанов О. А. Пацурковський П.А. Підвищення екологічної ефективності суднових котельних установок	72
Мессер Д.О. , Вдосконалення пропульсивного комплексу хімовозу «FURE VINGA»	74

Наукове видання

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА ПРОБЛЕМИ

**XI Міжнародна науково-технічна конференція
присвячується пам'яті професора Горбова Віктора Михайловича**

07-08 листопада 2023 року

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, проспект Героїв України, 9*

*Машинобудівний навчально-науковий інститут
вул. Кузнецька, 5*

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск Б. М. Личко
Комп'ютерна верстка В. В. Торубара

Формат 60×84/8 Ум. друк. арк. 16,2. Наклад 100. Зам. № 48/23-Ц

Видавець та виготовлювач Торубара В. В.

вул. Наваринська, 5–17, м. Миколаїв, 54001, тел.: (067) 800-70-70

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4626 від 9.10.2013

УДК 629.123

ЕНЕРГЕТИКА, ПАЛИВО Й ЕКОЛОГІЯ ТРАНСПОРТНИХ СУДЕН**Шостак В.П.**

*кандидат технічних наук, професор кафедри
експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
shostakvolodymyr7@gmail.com*

Самохвалов В.С.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м.Херсон, Україна*

Личко Б.М.

*кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри
експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
bogdan.lychko@gmail.com*

Анотація. Аналізується п'ять способів зниження витрат палива та викидів токсичних оксидів з відхідними газами малообертового двигуна й акцентується увага на впровадження цих способів на судах ближньої перспективи.

Ключові слова: малообертовий двигун, зниження витрат палива, токсичні викиди, впровадження на судна, ІМО.

Шкідливий вплив на морське довкілля транспортних суден очевидний для більш-менш освічених у питаннях суднової енергетики, оскільки головний двигун, а це, як правило, малообертовий дизель значної потужності, викидає з відхідними газами в атмосферу значну кількість токсичних оксидів. Шлях до послаблення цього впливу лежить, зокрема, через зменшення витрати палива на суднову пропульсивну установку.

Інтенсивність морських перевезень з плином часу не знижується, а навпаки зростає, бо транспортування вантажів морем найдешевше, з одного боку, а, з іншого, світова торгівля розвивається стрімкими темпами. Отож проблема забруднення довкілля токсичними оксидами з суден стає все більш актуальною.

Виникає питання: чи все із наявного для відчутного зниження витрати палива використовується інженерно-штурманською спільнотою, причетною до транспортування вантажів морем.

У зв'язку з цим розглянемо низку способів підвищення паливної ефективності суднової пропульсивної (рухової) установки, що обумовлюють рейсову витрату палива. Це, в першу чергу, *глибока утилізація* на ходових режимах судна вторинної теплоти головного малообертового двигуна [1, 3, 4, 8, 11, 15]. Далі:

- застосування поряд з дизель-генераторами потужного *валогенератора*, який може також працювати у режимі гребного електродвигуна;
- використання в окремих випадках *дизель-редукторної установки* з малообертовим двигуном [5];
- встановлення на судах як допоміжного рушія повітряного змія – *кайта* [7, 9, 10, 13, 14];
- рух судна у кожному окремому рейсі по *раціональному шляху* на рекомендованій маршрутній лінії [2, 6, 12].

Вказані способи є реальними, в тій чи іншій мірі апробованими і безперечно, на наш погляд, корисними для екології.

Вторинна теплота від малообертового двигуна для отримання механічної енергії, як відомо, тим краща, чим вище температура. Для її глибокої утилізації придатні відхідні гази ($\sim 250^\circ\text{C}$) і стиснене у турбокомпресорі повітря ($\sim 200^\circ\text{C}$). У енергетичному балансі вказаного двигуна вони складають $\sim 40\%$ ($\sim 20 + 20$). Вода охолодження циліндрів (80°C) і циркуляційне масло ($\sim 60^\circ\text{C}$) для цього практично не придатні. Досяжна потужність утилізаційної турбіни становить щонайменше 10% від потужності малообертового двигуна при використанні теплоти газів і стисненого повітря [4, 8]. Поряд з цим відмітимо, що є ще резерви (оптимізація цикла "пар-конденсат", корегування відкриття випускного клапана, застосування силової газової турбіни [11, 15] тощо), які додадуть 2-3 % до 10% .

Останнім часом поширюється застосування середньообертового двигуна у якості головного. При цьому замовчується, що його питома витрата палива на $\sim 10\text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$ вища від малообертового. Отож домінуючим залишатиметься останній. Для забезпечення як найбільшого ККД гребного гвинта пропонується пропульсивна дизель-редукторна установка з малообертовим двигуном з діаметром циліндрів 260 мм і частотою обертання 250 хв^{-1} [5]. У цьому аспекті варті уваги проекти значних за розмірами суден, оснащених дизель-редукторною установкою з малообертовим двигуном: танкер "Tsukuba maru" ($2 \times 9000\text{ кВт}$) та навалювальник ($2 \times 7000\text{ кВт}$) – див. журнал "The Motor Ship", 1983. Завдяки редуктору ККД гвинта зростає на 3-4 %. Крім того, наявність редуктора сприяє застосуванню валогенератора і утилізаційного гребного турбозубчастого агрегата. Отже, дизель-редукторна установка з малообертовим двигуном має свою сферу доцільного застосування і дає найменшу витрату палива за рейс.

Використання у складі суднової електростанції валогенератора вважається корисним, зокрема завдяки створеним фірмою Renk мультиплікаторів-редукторів, оскільки питома витрата палива малообертового двигуна суттєво менша двигунів дизель-генераторів. Технічне обслуговування валогенератора набагато дешевше від дизель-генератора. Таким чином, доцільність валогенератора безперечна.

Компанія SkySails запропонувала, створила й провела натурні дослідження буксирувального керованого повітряного змія – кайта площею $40\text{--}640\text{ м}^2$, який суттєво може "допомогти" головному двигуну. Кайт-система повністю автоматизована. При сприятливому вітрі максимальний за площею кайт дає корисну тягу близько 300 кН . При необхідності можуть бути створені кайти і більшою площею [14]. Проте наголосимо, що кайт працює далеко не за будь-яких умов. Найбільш сприятливі для його застосування трансатлантичні та транстихоокеанські рейсові лінії для відносно тихохідних суден: балкерів і танкерів [7, 13]. На вказаних лініях за строк служби, наприклад, танкера водотоннажністю 36 тис. т економія палива сягає 15% . З точки зору витрати палива і екології застосування кайта на тихохідних суднах завжди корисне.

Оскільки опір руху судна залежить від напрямків вітру й хвиль та інших чинників, то абсолютно очевидно, що в кожному окремому рейсі мають місце раціональні відхилення напрямку руху від рекомендованого маршруту. Якщо оснастити бортовий комп'ютер відповідним програмним продуктом, який базується на динамічному програмуванні і широких можливостях пропульсивної установки стосовно її потужності на режимах повного ходу, то за період експлуатації судна зниження витрати палива може становити 2-4 % [2, 6].

Впровадження перелічених вище способів, які практично не реалізовано, знизить, на наш погляд, шкідливі викиди з відхідними газами понад 10-15 %. І цьому впровадженню, з технічної точки зору, немає перешкод.

Таке впровадження може здійснити ІМО директивним шляхом, тим більше що вона має досвід при усуненні проблеми ефемерних озонових дірок. І не тільки може, а й зобов'язана, адже йдеться про покращення екології нашого спільного дому – довкілля. Крім того, ми вважаємо, що це ще й знизить собівартість морських перевезень.

Література

1. Вторинні енергоресурси та енергозбереження на судах [Текст]: навчальний посібник / .С. Самохвалов, Д.В. Коновалов, М.Ю. Багненко та ін., за загал. ред. В.С. Самохвалова. – Миколаїв: Ілліон, 2016. – 430 с.
2. Гершаник, В.И. Определение рационального скоростного режима работы главного двигателя с учетом гидрометеорологических условий мореплавания [Текст]/В.И. Гершаник // 36. наук. праць НУК, № 2 (407). – Миколаїв, 2016. – С. 71-80.
3. Захаров, Ю.В. Анализ экономической эффективности способов утилизации тепла отходящих газов судовых дизелей [Текст] / Ю.В. Захаров, В.П. Шостак // Судостроение, № 8, 1972. – С. 31–35.
4. Шостак, В.П. Глибока утилізація теплоти відхідних газів і стисненого повітря сучасного малооборотного двигуна [Текст] / В.П. Шостак, А.Ю. Манзюк // Віс. НУК. – Миколаїв, 2016. – С. 21-25.
5. Шостак, В.П. К вопросу о применении дизель-редукторной установки с малооборотным двигателем на транспортных судах [Текст] / В.П. Шостак, Б.М. Личко // 36. наук. праць НУК.– Миколаїв, 2005. – № 5– С. 60-68.
6. Шостак, В.П. Минимизация рейсовых расходов топлива [Текст] // В.П. Шостак, В.И. Гершаник, В.Е. Бридан, С.А. Постыка // 36. наук. праць УДМТУ.– Миколаїв: УДМТУ, 1998. – №11.– С. 65-76.
7. Шостак, В.П. Расход топлива и экологичность судовой пропульсивной установки с кайтом [Текст] // В.П. Шостак, А.И. Кисарова // Электронный вестник НУК. – Миколаїв: НУК, 2013 – №3.
8. Шостак, В.П. Суднові пропульсивні установки з головним поршневым двигуном і утилізаційною паровою або газовою турбіною [Текст] // В.П. Шостак, Б.М. Личко, А.Ю. Манзюк // "Суднова енергетика: стан та проблеми". – Матеріали Х Міжнародної науково-технічної конференції 4-5 листопада 2021 р. – Миколаїв: НУК. – С. 299-301.
9. Aschenbeck, S. Testergebnisse des SkySails – Systems [Text] / S. Aschenbeck, T. Lenger, W. Szczesny, R. Kreutzer, M. Schlaak // Schiffbau & Schiffstechnik, Heft 1, 2009. – №1. – P. 36-40.
10. Elsner, R. Simulating possible Savings of the SkySails–System on International Merchant Ship Fleets [Text] / R. Elsner, R. Kreutzer, M. Schlaak // Trans RINA, Vol. 151, Part A4, 2009. – P. 25-37.
11. Schmid, H. Less Emissions Through Waste Heat Recovery [Text] / Heinrich Schmid// Switzerland: Wärtsilä Corporation, 2004. –10 p.
12. Shostak V.P. Fuel consumption and energy flows in marine power plants [Text] / V.P. Shostak, V.I. Gershanik // Maritime Engineering, Science and Technology. – London: IMEST, 2011. – № 9. – P. 134-143.
13. Shostak V. Tools for forecasting and optimizing the tuning parameter of the low-speed engine for designing a ship with the kite. / V.P. Shostak, A. Kisarova. Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2018. – № 2/3(92). – С. 13–20.
14. SkySails. URL:<http://www.skysails.info> (Last accessed: 03.03.2018).
15. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emission and EEDI [Text] / MAN Diesel & Turbo // Copenhagen, Denmark, 30 p.

ENERGY, FUEL AND ENVIRONMENT OF TRANSPORT VESSELS

Shostak V.P. candidate of technical sciences, professor of the department operation of ship power plants and thermal power engineering Admiral Makarov National Shipbuilding University Mykolaiv, Ukraine shostakvolodymyr7@gmail.com

Samokhvalov V.S. candidate of technical sciences, associate professor of the department of heat engineering Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.

Lychko B.M. candidate of technical sciences, associate professor, acting the head of the department operation of ship power plants and thermal power engineering Admiral Makarov National Shipbuilding University Mykolaiv, Ukraine
bogdan.lychko@gmail.com

Abstract. Five methods of reducing fuel consumption and emissions of toxic oxides with waste gases of a low-speed engine are analyzed, and attention is focused on the implementation of these methods on ships in the near future.

Key words: low-speed engine, reduction of fuel consumption, toxic emissions, implementation on ships, IMO.

УДК 621.45.034

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА ПРИ РОБОТІ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГІБРИДНОЇ ГАЗОПАРОВОЇ УСТАНОВКИ

С. І. Сербін, д.т.н., професор¹, Б. Т. Діасамідзе, Ph.d., асистент²

О.А. Шмарков, аспірант³

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, м. Миколаїв

¹ serhiy.serbin@nuos.edu.ua, ² badri.diasamidze@nuos.edu.ua,

³ shmarkov.oleksandr@gmail.com

Анотація. Розглянуто питання екологічного впливу гібридної газопарової установки з впорскуванням пари у камеру згоряння, яка працює на водні, представлено контури температур у жаровій трубі та концентрацій шкідливих речовин у її вхідному перерізі.

Ключові слова: газотурбінний двигун; зелена енергетика; водень; гібридний цикл; камера згоряння; навколишнє середовище.

Вступна частина. Вирішуючи актуальні екологічні питання, інженери-турбінобудівники шукають нові поєднання методів: підвищення енергетичних показників та одночасного зниження емісії шкідливих речовин. Поставлених цілей можливо досягти різними шляхами, але вплив одних підходів може позитивно впливати на певні показники установок та погіршувати стан інших або навпаки. Тому ціллю розробки нових систем та установок стає поєднання декількох способів підвищення ефективності та екологічності, які б своїми перевагами компенсували негативний вплив один на одного, що у загальному рішенні дає бажаний результат.

Ціль роботи – визначення можливостей поєднання у одній установці впорскування водяної пари у камеру згоряння з використанням водню у якості палива, а також аналіз екологічного ефекту такого підходу.

Основна частина. Виходячи зі стану сучасної економіки та промисловості, видобуток нафти і газу залишається одним з основних видів сировини для сучасної енергопромисловості та суттєво впливає на них [1]. На противагу традиційним вуглеводневим видам палива у світі поширюються тенденції використання альтернативних палив, таких як водень, рослинні олії, синтетичний гас, етанол, метанол, біодизель та інші [2].

Ефективність використання енергії палива розглядається, як один з ключових аспектів у питанні підвищення екологічних показників енергетичних установок через її зв'язок з так званим індексом EEDI (Energy Efficiency Design Index) [1]. Шляхом зниження значення питомої витрати палива можливо досягти зменшення маси виробленого судном парникового газу, тим самим зменшуючи негативний екологічний вплив. Також сучасні тенденції для зниження емісії CO₂ пропонують використовувати паливні суміші вуглеводнів