

[8]. 48/60B Project Guide – Marine Four-stroke diesel engines compliant with IMO Tier II. - Wartsila, November 2011. - 520 p. ([www.mandieselturbo.com](http://www.mandieselturbo.com))

[9]. HySTAT® HYDROGEN GENERATORS. 2017. – Oevel, Belgium. 16 с. (режим доступа [www.hydrogenics.com](http://www.hydrogenics.com))

[10]. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/experts-explain-why-green-hydrogen-costs-have-fallen-and-will-keep-falling-63037203/>

## PERFORMANCE INDICATORS OF THE 9L48/60B TANKER MAIN ENGINE USING HYDROGEN ADDITIVES IN THE MAIN FUEL

Denys Shalapko - PhD, Lecturer of the Ship Power Plants Operation and Heat-Power Engineering Department, Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.

Hanna Shalapko - student of Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.

**Abstract.** To date, the development of internal combustion engines (ICE) has reached such values of efficiency that each subsequent percentage increase in efficiency requires significant efforts and scientific results. The utilization of secondary energy resources, alternative fuels and fuel catalysts is becoming more and more relevant for marine ICE. To carry out modeling of the modernization of the fuel system of the main engine 9L48/60DB of the tanker vessel using hydrogen catalytic additives to the main fuel to improve the performance of the engine. To obtain positive results, it is proposed to use a system for supplying hydrogen additives, which do not exceed 0.1% of the cyclic portion of fuel (by mass). Hydrogen can be stored on board in the form of a metal hydride battery or in a liquid state. Simulation of the use of this technology on the MAN 9L48/60B engine was carried out. As a result of the calculations, a decrease in the specific effective fuel consumption of the engine by 1.5...3.5% was obtained, depending on the mode of operation of the engine, with the largest values of the reduction of fuel consumption being achieved in partial modes of operation. It is also worth noting the increase in engine power up to 3%, according to the operating mode of the installation. At the same time, the effect is achieved due to the improvement of mixture formation in the engine.

**Key words:** ship power plant operation, internal combustion engine, hydrogen, alternative fuel, metal hydride battery.

УДК 621.444:629.5.03-8

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЖЕКТОРНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ В СИСТЕМІ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ З МЕТОЮ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СДВЗ

Пирисунько М.А.<sup>1</sup>, Лабушев М.Є.<sup>2</sup>, Кондратюк М.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> кандидат технічних наук, доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики  
Херсонського навчально-наукового інституту  
Національного університету кораблебудування імені  
адмірала Макарова, Херсон, Україна  
[taximka1786@gmail.com](mailto:taximka1786@gmail.com)

<sup>2</sup> студент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,  
Херсонський навчально-науковий інститут,  
м. Миколаїв, Україна

**Анотація.** Викиди забруднюючих речовин в атмосферу з суден великого розміру є ключовим фактором стану якості повітря в прилеглих районах до портів. На судноплавство приводиться 13 % щорічних викидів оксиду сірки в усьому світі. На судноплавство також приводиться до 15 % світових викидів NO<sub>x</sub> і 3 % викидів CO<sub>2</sub>, які, як очікується, значно

збільшаться в найближчі 30 років. Це забруднення в значній мірі залишається непоміченим, тому що воно переважно відбувається далеко в морі, але судна в морських портах стали головною небезпекою забруднення на суші.

**Ключові слова:** шкідливі викиди, випускні гази, двигун внутрішнього згоряння,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ .

Теперішні і майбутні норми щодо викидів спонукають виробників двигунів включати методи, що дозволяють зменшити викиди з двигуна, особливо  $\text{NO}_x$  та твердих частинок. Перспективним напрямом в екологізації суднових двигунів внутрішнього згоряння є нейтралізація шкідливих речовин у випускних газах. Однак, використання таких технологій приводить до зниження енергетичної ефективності двигуна.

Нові обмеження на викиди судновими двигунами ставлять судновласників перед вибором можливих варіантів вирішення проблеми. Виконання вимог нового екологічного законодавства ще більше збільшить витрати на будівництво суден, що стимулює пошук нових технічних рішень, що відповідають екологічним стандартам при високій економічній ефективності.

В даний час розроблені способи зниження токсичних викидів з ВГ поділяються на первинні та вторинні заходи. Первинні заходи пов'язані з організацією процесів сумішоутворення і згоряння, вдосконаленням систем турбонаддува і уприскування палива, а так само використанням альтернативних палив, таких як природний газ. До вторинних заходів належать: рециркуляція відпрацьованих газів, зволоження робочої суміші, каталітична очищення ВГ та ін.

Одним з таких технологічних рішень є система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR - Exhaust Gas Recirculation). Принцип роботи системи заснований на поверненні певної кількості відпрацьованих газів назад у впускний колектор. Далі, змішуючись з повітрям і паливом, випускні гази надходять назад в циліндри двигуна разом з новою паливо-повітряною сумішшю.

Одна з переваг рециркуляції відхідних газів - невеликі матеріальні витрати в порівнянні з іншими способами зниження  $\text{NO}_x$ . У разі застосування рециркуляції немає необхідності використання складних і дорогих пристроїв, виготовлення яких для великогабаритних суднових дизелів викликають великі технічні труднощі.

Перспективним на сьогоднішній день є використання технологій, які б забезпечили підвищення паливно-енергетичної ефективності ДВЗ при роботі із системами рециркуляції газів, тобто поєднали би високу екологічну ефективність із економічністю.

При аналізі ефективності застосування запропонованого рішення порівняння здійснено на основі базової схеми з рециркуляцією відхідних газів, для малооборотних двотактних дизельних двигунів фірми MAN відповідно до умов екологічності Tier III [4]. Рециркуляція забезпечується байпасування частини відхідних газів з наступних очищенням від шкідливих газів в скрубєрі та доохолодженням в теплообміннику-охолоджувачі газу. До складу системи входять скрубєр, охолоджувач, вологоуловлювач, вентилятор і система очищення із підтримкою розчину  $\text{NaOH}$ .

Для аналізу параметрів системи рециркуляції, а також характеристик головного двигуна MAN B&W марки 6G50ME-C9.6. використовувався програмний комплекс CEAS провідної фірми-виробника MAN [5]. Розрахунок зроблено для наступних вихідних даних: експлуатаційні характеристики головного двигуна (при умовах ISO) – навантаження на двигун –  $\text{NMCR} = 90 \%$ ; потужність –  $N_e = 9288 \text{ кВт}$ ; частота обертання –  $n_e = 96,5 \text{ хв}^{-1}$ ; питома витрата умовного палива –  $g_e = 165,8 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$ ; система рециркуляції відхідних газів (EGR) – із скрубєром і охолоджувачем газу, відповідає умовам екологічності Tier III.

Система рециркуляції працює наступним чином: відхідні гази кількістю від 10 до 40 % через клапан з ресиверу відпрацьованих газів подаються в скрубєр, де вони частково охолоджуються і очищуються при розпиленні води спеціальними форсунками. Потім гази охолоджуються в теплообміннику-охолоджувачі газу, конденсат відводиться в конденсатовідводнику, а очищений і охолоджений газ подається в вентилятором в повітряний ресивер, де він змішується із повітрям, що йде від турбокомпресора.

Розрахунок характеристик двигуна проводився на експлуатаційному режимі при рейсі суховантажного судна з Одеси (Україна) до міста Йокогама (Японія), що здійснювався в період

з 01.07.2018 по 12.07.2018 р. Дані зміни кліматичних умов протягом рейсу (температура зовнішнього повітря  $t_n$ , температура забортної води  $t_w$ , вологовміст зовнішнього повітря  $d_n$  і відносна вологість  $\phi_n$  від доби рейсу судна.

Запропоновано відводити на генератор тепловикористовуючої ЕХМ теплоту рециркуляційних газів, при цьому генератор розташовується перед скруббером. Холод, що виробляється ЕХМ застосовується для охолодження повітря на вході в турбокомпресор (попереднє охолодження повітря ДВЗ).

Результати дослідження роботи тепловикористовуючої ЕХМ з різними тепловими коефіцієнтами  $\zeta = 0,3; 0,35; 0,4$  показують, що холодопродуктивність складає:  $Q_{0(0,3)} = 760\text{--}1070$  кВт ( $\zeta = 0,3$ );  $Q_{0(0,35)} = 790\text{--}1110$  кВт ( $\zeta = 0,35$ );  $Q_{0(0,4)} = 820\text{--}1150$  кВт ( $\zeta = 0,4$ ). Теплове навантаження на генератор ЕХМ складає  $Q_r = 590\text{--}860$  кВт при відповідному охолодженні газу в генераторі (перед скруббером) від температури  $t_{r1} = 380\text{--}420$  °С до температури  $t_{r2} = 180$  °С (прийнята із врахуванням небезпеки виникнення низькотемпературної сірчистої корозії). Така ефективність ЕХМ дозволяє забезпечити зниження температури повітря перед турбокомпресором двигуна відповідно на:  $\Delta t_{n(0,3)} = 4,1\text{--}11,9$  °С ( $\zeta = 0,3$ );  $\Delta t_{n(0,35)} = 4,7\text{--}13,9$  °С ( $\zeta = 0,35$ );  $\Delta t_{n(0,4)} = 5,4\text{--}15,9$  °С ( $\zeta = 0,4$ ).

Зниження температури повітря на вході забезпечує зниження питомої витрати умовного палива відповідно:  $\Delta g_{e(0,3)} = 0,4\text{--}1,3$  г/(кВт год) ( $\zeta = 0,3$ );  $\Delta g_{e(0,35)} = 0,5\text{--}1,5$  г/(кВт год) ( $\zeta = 0,35$ );  $\Delta g_{e(0,4)} = 0,6\text{--}1,7$  г/(кВт год) ( $\zeta = 0,4$ ).

**Висновки.** Ефект від використання теплоти рециркуляційних газів для охолодження повітря на вході проаналізовано для двигуна фірми MAN 6G50ME-C9.6 з урахуванням змінних кліматичних умов на рейс судна "Одеса-Йокогама". Показано, що використання теплоти рециркуляційних газів ежекторною холодильною машиною дозволяє знизити температуру повітря на вході головного двигуна на 8–30 °С, сумарний ефект від сумісного зниження температури повітря на вході та рециркуляційних газів відображається на питомій витраті умовного палива складає 1,0–4,1 г/(кВт·год). При цьому скорочуються викиди шкідливих речовин при роботі двигуна з рециркуляцією відпрацьованих газів.

### Література

- [1]. Ghosh, S. and Dutta, D., "The Effects of EGR on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Operated on Diesel Oil and Pongamia Pinata Methyl Ester (PPME)", International Journal of Engineering Inventions, 12 (1), - 2012. - 39-44.
- [2]. Hussain, J., Palaniradja, K., Alagumurthi, N. and Manimaran, R. Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance and emission characteristics of a three cylinder direct injection compression ignition engine. Alexandria Engineering Journal, 51 (4), - 2012. - 241-247.
- [3]. Agarwal, D., Singh, S.K. and Agarwal, A.K. Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of a constant speed compression ignition engine. Applied Energy, 88 (8), - 2011. - 2900-2907.
- [4]. MAN Diesel & Turbo, MAN B&W Two-stroke Marine Engines. Emission Project Guide [Online], available at: [https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special\\_pg/7020-0145-09\\_uk.pdf](https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special_pg/7020-0145-09_uk.pdf). - Accessed 9 October 2018.
- [5]. MAN Diesel Turbo, "CEAS Engine Calculations" [Online], available at: <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>. - 2019.

### FEATURES OF APPLICATION OF AN EJECTOR REFRIGERATOR IN THE EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM IN ORDER TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL INDICATORS OF SHIP DIESEL ENGINE

Maxim Pyrysunko - PhD, Lecturer of the Ship Power Plants Operation and Heat-Power Engineering Department, Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.

Mykola Labushev, Mykhailo Kondratyuk - student of Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine.

**Abstract.** Emissions of pollutants to the atmosphere from large ships are a key factor in the state of air quality in nearby port areas. Shipping accounts for 13% of the world's annual sulfur oxide emissions. Shipping also accounts for up to 15% of global NO<sub>x</sub> emissions and 3% of CO<sub>2</sub> emissions, which are expected to increase significantly over the next 30 years. This pollution largely goes unnoticed as it mostly occurs far offshore, but ships in seaports have become the main pollution threat on land.

**Keywords:** harmful emissions, exhaust gases, diesel engine, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>.

УДК 621.43.057.2

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛОГІДРИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ КОМПАКТНОГО СУДНА

Шалапко Д.О.

*к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,  
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету  
кораблебудування імені адмірала Макарова,  
Херсон, Україна,*

**Анотація.** Так, в боротьбі за збереження навколишнього середовища та зменшення негативного впливу на здоров'я людей, норми токсичних викидів з двигунів внутрішнього згоряння постійно зменшуються. Наприклад, в країнах Європейського Союзу та США прийняті вимоги до емісій шкідливих речовин з автотранспорту, які регулярно оновлюються та посилюються. Такі норми є результатом наукових досліджень, які показують негативний вплив викидів з двигунів на здоров'я людей та навколишнє середовище. Зменшення токсичних викидів допомагає знизити ризик розвитку серйозних захворювань, таких як рак та захворювання дихальних шляхів.

**Ключові слова:** дизель-генератори, енергозбереження, металогідрид, акумулятор.

**Актуальність досліджень.** На жаль, робота дизель-генераторів на "важкому" паливі за межами зони контролю викидів на повну потужність не є ефективним рішенням для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей. Використання важких палив (таких як мазут чи вугілля) в дизель-генераторах призводить до великих викидів шкідливих речовин, таких як сірковуглецеві сполуки, оксиди азоту та частки диму, які можуть мати серйозний негативний вплив на здоров'я людей та навколишнє середовище.

Дизель-генератори що встановлюють на судах зазвичай мають запас потужності, це обумовлено наявністю споживачів що працюють періодично, а також резервом потужності для забезпечення споживачів що працюють безперервно, але зі змінними енерговитратами. Задля накопичення енергії ефективним рішенням постане отримання водню способом електролізу з наступним використанням низькотемпературних паливних елементів (ПЕ) на базі полімерної протон-обмінної мембрани.

**Постановка задачі.** Отримання водню відбувається електролізерами з твердим полімерним електролітом, що є новим поколінням обладнання для використання електрохімічного процесу [1, 2], та відрізняються малими енерговитратами (4,0...4,3 кВт·год на 1 м<sup>3</sup> водню), меншими розмірами, високою чистотою водню. Полімерна мембрана це синтезована на базі високополімерних смол, що складаються з фторованих сульфокислот. Властивості таких мембран близькі до тефлону, а при збільшенні у воді вона еквівалентна 10 % сірчаній кислоти. Мембрана, що набухла у воді мембрана стає проникною для гідротированих іонів водню. Конструктивно електролізер з твердополімерними електродами (ТПЕ), має між електродами електролітну мембрану товщиною до 0,2 мм на бічних гранях якої нанесені високодисперсні електрокаталізатори (ЕК) катодного і анодного процесів. Контактуючі