

УДК 621.444:629.5.03-8

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ
ЕЖЕКТОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ
ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ СУДНОВОГО ДВИГУНА**

Пирисунько М.А.¹, Ровенко О.В.², Лук'яник В.І.³

¹*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
Херсонська філія, Херсон, Україна
maximka1786@gmail.com*

Анотація. В даний час має місце інтенсивне посилення норм на токсичні викиди відпрацьованих газів суднових дизелів при плаванні суден в прибережних морських районах і на внутрішніх водних шляхах. Постійне зростання числа суден призводить до збільшення об'єму палива, що спалюється ними, а отже до збільшення викидів токсичних компонентів з відпрацьованими газами. В роботі проаналізовано зниження шкідливих викидів судновими дизелями за рахунок використання теплоти рециркуляційних газів ежекторною холодильною машиною.

Ключові слова: шкідливі викиди, ежекторна холодильна машина, випускні гази, судновий двигун.

На сьогоднішній день найбільш актуальними є проблеми використання енергетичних ресурсів і запобігання забрудненню навколишнього середовища. Для вирішення цих проблем вкладається багато коштів в розвиток ресурсозберігаючих, енергозберігаючих і енергоефективних технологій, щоб звести до мінімуму екологічні наслідки використання органічного палива та інших природних ресурсів.

Енергетичні установки є однією з головних причин збільшення використання палива і викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище. Велика доля при цьому належить двигунам внутрішнього згоряння (ДВЗ), які займають провідне місце як джерела енергії (теплової, механічної, електричної) майже в усіх галузях. Саме через хімічне забруднення токсичними речовинами, що містяться у відхідних газах ДВЗ, наноситься найбільша шкода, а найбільш чутливий вплив на навколишнє середовище має місце від суднових енергетичних установок, в яких головним джерелом енергії є ДВЗ.

Рециркуляція відхідних газів за технологією EGR є методом, що значно зменшує формування NOx у суднових дизельних двигунах. Його застосування повністю задовольняє вимогам Tier III стосовно NOx. За схемою EGR після охолодження і очищення частина відхідних газів рециркулюється до повітряного ресивера. Таким чином, частина кисню в повітрі, що використовується в процесі горіння, замінюється оксидом CO₂. Це, в свою чергу, зменшує вміст кисню O₂ і швидкість горіння, тим самим знижуючи його максимальну температуру, а відтак і інтенсивність утворення NOx [1].

Як показали дослідження [2], застосування рециркуляції з K_p = 10 % знижує NOx приблизно на 30 % без істотного зростання витрати палива, хоча димність відхідних газів дещо збільшується. При K_p = 20 % зменшення викиду оксидів азоту може сягати 60 %. Однак вже при K_p > 10-15 % спостерігається погіршення паливної економічності на 4-7 %.

Перспективним на сьогоднішній день є використання технологій, які забезпечують підвищення паливно-енергетичної ефективності ДВЗ при роботі з системами рециркуляції газів, тобто поєднують високу екологічну ефективність з економічністю.

Мета дослідження – оцінка ефективності попереднього охолодження повітря суднового головного двигуна ежекторною холодильною машиною (ЕХМ) з використанням теплоти рециркуляційних газів.

При аналізі ефективності застосування запропонованого рішення порівняння здійснено на основі базової схеми з рециркуляцією відхідних газів, для малообертових двотактних дизельних

двигунів фірми MAN відповідно до умов екологічності Tier III [2]. Рециркуляція забезпечується байпасування частини відхідних газів з наступних очищенням від шкідливих газів в скрубєрі та доохолодженням в теплообміннику-охолоджувачі газу.

Схемне рішення із застосуванням тепловикористовуючого контуру ЕХМ розглянуто для суднового малообертового дизельного двотактного двигуна MAN B&W марки. Для аналізу параметрів системи рециркуляції та характеристик двигуна використовувався програмний комплекс CEAS фірми-виробника MAN [3]. Розрахунок проведено для наступних експлуатаційних характеристик двигуна 6G50ME-C9.5 (при умовах ISO): навантаження на двигун – $NMCR = 90\%$; потужність $N_e = 9288$ кВт; частота обертання $n_e = 96,5$ хв⁻¹; питома витрата умовного палива $g_e = 165,8$ г/(кВт·год); система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) зі скрубєром і охолоджувачем газу відповідає умовам екологічності Tier III.

Розрахунок характеристик двигуна проводився на експлуатаційному режимі при рейсі суховантажного судна з Одеси до Шанхаю, що здійснювався з 01.07.2018 по 26.07.2018 р. Дані зі зміни кліматичних умов протягом рейсу судна (температура зовнішнього повітря t_n , температура забортної води $t_{зв}$) наведені на рис. 2.

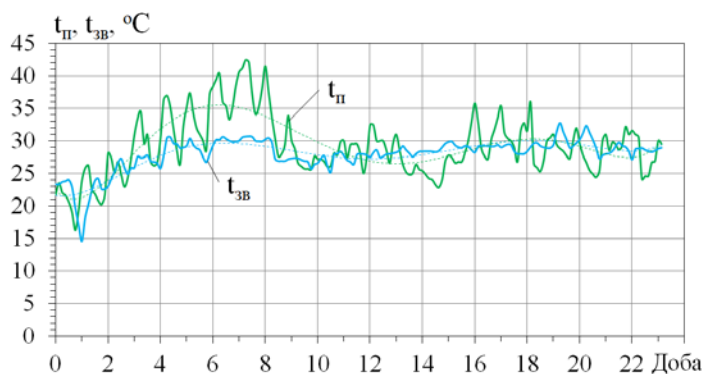


Рис. 1. Зміна температури зовнішнього повітря t_n і забортної води $t_{зв}$ упродовж рейсу судна Одеса-Шанхай

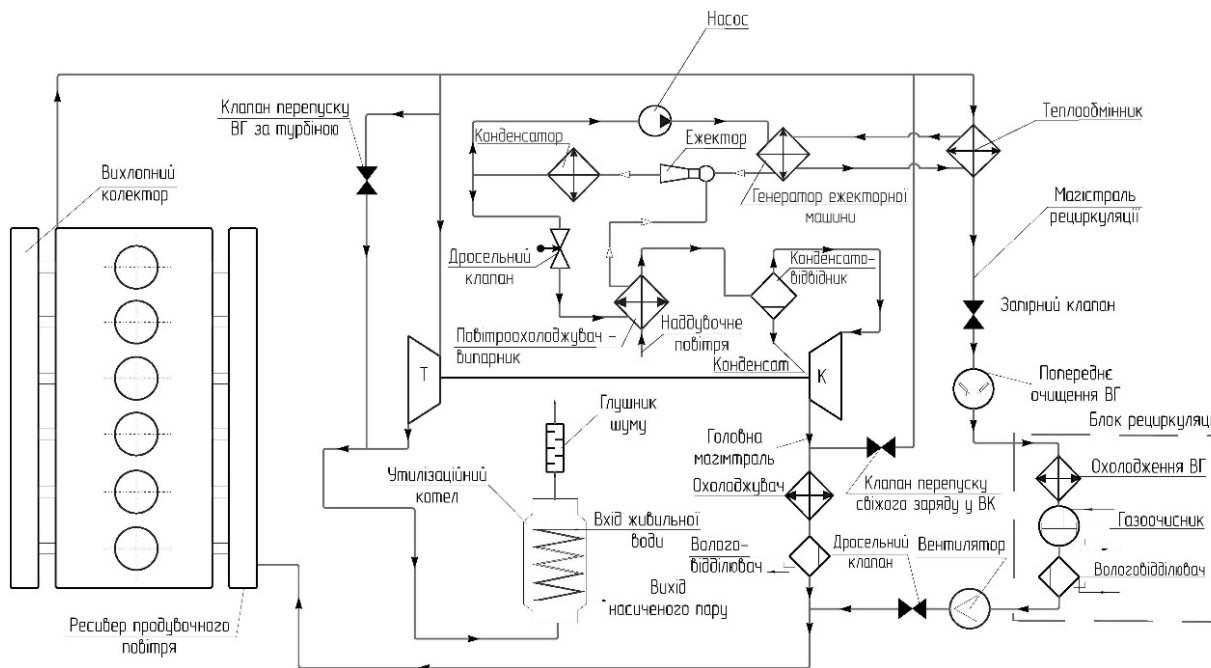


Рис. 2. Схема системи рециркуляції малообертового двигуна фірми MAN із тепловикористовуючою ЕХМ

Характеристики ЕХМ: холодоагент – R142b; температури кипіння у випарнику-охолоджувачі повітря $t_0 = 3-7\text{ }^{\circ}\text{C}$; кипіння в генераторі $t_g = 100-120\text{ }^{\circ}\text{C}$; конденсації $t_c = 30-35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розроблена схема системи рециркуляції газів з ЕХМ (рис. 2), відповідно до якої відхідні гази кількістю від 10 до 40 % подаються з ресиверу відпрацьованих газів у скруббер, де вони частково охолоджуються і очищуються при розпиленні води форсунками. Потім гази охолоджуються в теплообміннику-охолоджувачі газу, конденсат відводиться конденсатовідвідником, а очищений і охолоджений газ подається вентилятором у повітряний ресивер, де він змішується із повітрям від турбокомпресора.

Теплота рециркуляційних газів відводиться до генератору ЕХМ, розташованим перед скруббером. Холод, що виробляється ЕХМ, застосовується для охолодження повітря на вході в турбокомпресор.

Результати розрахунків системи утилізації теплоти рециркуляційних газів в ЕХМ з тепловими коефіцієнтами $\zeta = 0,30$ показують, що зниження температури повітря перед турбокомпресором дозволяє скоротити питому витрату палива на $\Delta g_{e,pr(0,3)} = 167,4 \dots 169,4\text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$ та зменшити кількість оксидів азоту і оксидів сірки на величину: $\Delta g_{NOx} = 10,2 \dots 10,6\text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$; $\Delta g_{SOx} = 2,2 \dots 2,4\text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$.

Висновок. Розроблено схемно-конструктивне рішення системи рециркуляції випускних газів суднового головного двигуна з використанням їх теплоти ЕХМ для охолодження повітря на вході, що дозволяє зменшити кількість шкідливих викидів.

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] MAN Diesel Turbo, «CEAS Engine Calculations», 2019. [Онлайнвий]. Available: <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>.

Prospects of using the heat of recirculation gases by ejector refrigeration machine to reduce harmful emissions of marine diesel engines

Pyrysunko M. A.¹, Rovenko O.V.², Lukianyk V.I.³

¹⁻³Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson branch, Kherson, Ukraine.

Abstract. Currently, there is an intensive strengthening of standards for toxic emissions of exhaust gases from marine diesel engines during navigation of ships in coastal sea areas and on inland waterways. The constant increase in the number of ships leads to an increase in the volume of ships burned, and, consequently, to an increase in emissions of toxic components with exhaust gases. The paper analyzes the reduction of harmful emissions by marine diesel engines due to the use of the heat of recirculated gases by an ejector refrigeration machine.

Keywords: harmful emissions, ejector refrigeration machine, exhaust gases, marine engine.