

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ
СУДНОВОГО ДВИГУНА ІЗ СИСТЕМОЮ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ
ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ЕЖЕКТОРНОЮ ТА АБСОРБЦІЙНОЮ
ХОЛОДИЛЬНИМИ МАШИНАМИ**

М.А. Пирисунько¹, А.А. Андрєєв², Д.О. Шалапко³

¹к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-3928-7112

²к.т.н., професор, завідувач кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-1095-0398

³к.т.н., доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики,
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4311-3908

Анотація

Вступ. Одним із основних джерел інтенсивного забруднення повітря є дизельні двигуни внутрішнього згоряння. З відпрацьованими газами у навколишнє середовище вони викидають велику кількість шкідливих речовин. Це не може не мати негативного впливу на екологічну обстановку в районах акваторій, ремонтних баз, портів, на тваринний і рослинний світ водоєм і на здоров'я людей. Зменшення токсичності та кількості шкідливих викидів є складною науково-технічною проблемою. Нормативні вимогами, які стають дедалі жорсткішими, диктують необхідність вирішення цих проблем. Найчастіше їх вирішення супроводжується зниженням енергетичних та економічних показників двигунів. Застосування системи рециркуляції відпрацьованих газів призводить до погіршення паливної ефективності двигуна насамперед через зниження температури робочого циклу та уповільнення процесу згоряння. Наявність в системі рециркуляції скрубера призводить до втрат енергії, оскільки він відводить теплоту рециркуляційних газів за борт. **Мета.** Метою дослідження є покращення енергетичних і екологічних показників енергетичної установки судна. **Результати.** За допомогою проведеного аналізу запропоновано підхід до підвищення енергетичної та екологічної ефективності суднової енергетичної установки. Це досягається за рахунок охолодження повітря на вході в двигун за допомогою циклічних повітряних охолоджувачів. Виправдано використання теплоти рециркуляційних і вихлопних газів. Це дозволяє компенсувати втрати енергії, які викликані системою рециркуляції відпрацьованих газів, а також дає змогу забезпечити подальше зниження витрати палива. У роботі приведено результати аналізу ефекту, який ми отримуємо шляхом охолодження повітря на вході в турбокомпресор дизельного двигуна

тепловикористовуючими холодильними машинами, які утилізують теплоту рециркуляційних і вихлопних газів. **Висновки.** Показано, що питому витрату палива дизельного двигуна можна знизити шляхом охолодження наддувного повітря в абсорбційних і ежекторних холодильних машинах.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, абсорбційна холодильна машина, ежекторна холодильна машина, витрата палива, рециркуляція відпрацьованих газів, екологія, енергетична ефективність.

EFFICIENCY OF AIR COOLING AT THE INLET OF A MARINE ENGINE WITH AN EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM BY EJECTOR AND ABSORPTION REFRIGERATION MACHINES

M.A. Pyrysunko¹, A.A. Andreiev², D.O. Shalapko³

¹Ph.D. (Engineering), Associate Professor at the Department of Ship Engineering and Power Engineering,
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-3928-7112

²Ph.D. (Engineering), Professor, Head of the Department of Ship Engineering and Power Engineering,
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-1095-0398

³Ph.D. (Engineering), Associate Professor at the Department of Ship Engineering and Power Engineering,
Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-4311-3908

Summary

Introduction. One of the main sources of intense air pollution is diesel internal combustion engines. With exhaust gases, they emit a large amount of harmful substances into the environment. Which cannot but have a negative impact on the ecological situation in the areas of water areas, repair depots, ports, on the flora and fauna of reservoirs and on human health. Reducing toxicity and the amount of harmful emissions is a complex scientific and technical problem. Regulatory requirements, which are tightening, dictate the need to address these problems. More often, their solution is accompanied by a decrease in the energy and economic performance of engines. The use of an exhaust gas recirculation system leads to a deterioration in the fuel efficiency of the engine, primarily due to a decrease in the operating cycle temperature and a slowdown in the combustion process. The presence of a scrubber in the recirculation system leads to energy losses, since it removes heat from the recirculation gases overboard. **Purpose.** The aim of the study is to improve the energy and environmental performance of the ship's power plant. **Results.** Through the analysis, an approach is proposed to improve the energy and environmental efficiency of a ship power plant. This is achieved by cooling the engine inlet air with cyclic air coolers. The use of heat from recirculation and exhaust gases is justified. This makes it possible to compensate for the energy losses caused by the exhaust gas recirculation system, and also provides a further reduction

in fuel consumption. The paper presents the results of an analysis of the effect that we obtain by cooling the air at the inlet to the turbocharger of a diesel engine with heat-using refrigeration machines that utilize the heat of recirculation and exhaust gases.

Conclusions. *It is shown that the fuel consumption of a diesel engine can be reduced by cooling the charge air in absorption and ejector chillers.*

Key words: *internal combustion engine, absorption refrigeration machine, ejector refrigeration machine, fuel consumption, exhaust gas recirculation, ecology, energy efficiency.*

Вступ. У наш час проблема забруднення атмосфери стоїть дуже гостро. Шкідливі речовини, що містяться в атмосферному повітрі, негативно впливають на навколишнє середовище і на життєдіяльність людини. Серед основних джерел забруднення навколишнього середовища з суден виділяються головні та допоміжні енергетичні установки.

Міжнародні конвенції встановлюють жорсткі вимоги до технічного стану суден і процесу їх експлуатації. Недотримання цих норм під час експлуатації судна може призвести до обмеження їх району плавання або заборонення їх експлуатації в адміністративному порядку [1; 2]. Із 2016 року були введені нові стандарти ІМО ТIER III. Відповідно до них, у регульованих зонах (ЕСА) кількість шкідливих викидів має бути зменшена більш ніж у 3 рази.

Постановка проблеми. Вибір способу поліпшення екологічності суднового двигуна завжди супроводжується пошуком компромісу між димністю, токсичністю, витратами на реалізацію способу та паливною економічністю. Серед популярних методів поліпшення екологічності суднового дизеля є такі, як використання водопаливних емульсій, каталітичне очищення відпрацьованих газів, зволоження наддувного повітря, організація робочих процесів, застосування природного газу, рециркуляція відпрацьованих газів тощо.

Одним із перспективних напрямів екологізації суднових двигунів є протидія шкідливим речовинам шляхом їх рециркуляції. У цьому випадку відпрацьовані гази очищаються в скруберах, а їх теплота відводиться морською водою. Після цього очищені вихлопні гази разом із наддувним повітрям після турбокомпресора подаються назад у циліндри двигуна (технологія EGR) [3].

Слід зазначити, що використання таких технологій супроводжується додатковими витратами енергії на циркуляцію газів і тепловтратами з морською водою, що призводить до збільшення витрати палива і зниження потужності двигуна. Водночас охолодження наддувного повітря двигунів забезпечило б зниження витрати палива. Можливість використання теплоти рециркуляційних (екологічних) газів, яка скидається за борт, також дає можливість зменшити витрати енергії на їх рециркуляцію та очищення з одночасним зменшенням шкідливих викидів [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні є перспективні методи та технології, що дозволяють підвищити енергетичну та паливну ефективність двигунів внутрішнього згорання із системами EGR [5]. Вони можуть поєднувати високу екологічну ефективність з паливною економічністю двигуна, яка досягається за рахунок глибокої утилізації відхідної теплоти [6] та циклічного повітряного охолодження дизеля з використанням холодильної машини, тригенерації або

комплексних енергетичних систем і струменевих технологій [7; 8], статистичної обробки даних та аналізу впливу кліматичних параметрів навколишнього середовища на експлуатаційні характеристики систем охолодження. Для оцінки ефективності технологій зниження шкідливих викидів у атмосферу та економії палива використовуються методи та моделювання впливу параметрів навколишнього середовища на працездатність систем охолодження з утилізацією відпрацьованої теплоти, проводяться спостереження та експерименти. Представлені технології та методи дозволяють охолоджувати повітря, що надходить у двигун, за рахунок теплоти, яка відходить, за рахунок використання холодильних машин.

Формулювання цілей статті. Метою наукового дослідження є підвищення екологічної та енергетичної ефективності суднової енергетичної установки шляхом охолодження циркуляційного повітря в ежекторній холодильній машині (ЕХМ) і вихлопних газів у абсорбційній холодильній машині (АБХМ).

Виклад основного матеріалу. Для розрахунку ефекту повітряного охолодження на вході було обрано суховантажне судно, до складу якого входить судновий двигун провідної двигунобудівної компанії «MAN Energy» [9; 10]. Двигун 6G50ME-C9.6-TIII: дизельний, малообертовий і має такі характеристики: потужність $N_e = 9288$ кВт (NMCR=90%), питома витрата палива $g_e = 165,8$ г/(кВт·годину). Встановлена система рециркуляції відпрацьованих газів, яка відповідає нормам Tier III і зменшує викиди.

Характеристики холоду, необхідного для охолодження повітря на вході в двигун, залежить від кліматичних умов на лінії рейсу [11]. Для розрахунку показників двигуна був обраний маршрут від порту Одеса (Україна) до порту Шанхай (Китай). Тривалість маршруту 24 дні (з 01.07.2018 р. по 24.07.2018 р.), протяжність $L = 15023$ км. На рис. 1 наведено параметри кліматичних умов (температура морської води $t_{3,в}$, відносна вологість φ_n і температура зовнішнього повітря t_n) під час плавання [12; 13].

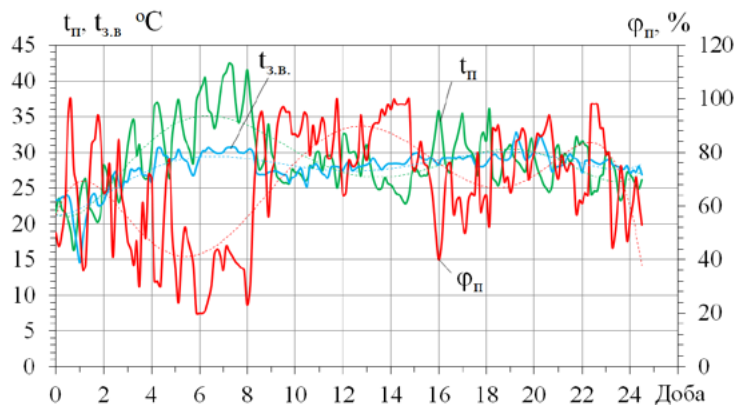


Рис. 1. Зміна відносної вологості φ_n і температури зовнішнього повітря t_n , а також температури морської води $t_{3,в}$ під час рейсу

Теплота відпрацьованих газів, необхідна для нагріву конденсату і утворення пари, розраховується з урахуванням масової витрати відпрацьованих газів

$G_{вг}$, їхньої теплоємності $c_{вг}$ і температури відпрацьованих газів на вході $t_{вг1}$ і на виході $t_{вг2}$:

$$Q_{г,вг} = G_{вг} \cdot c_{вг} \cdot \Delta t_{вг} = G_{вг} \cdot c_{вг} \cdot (t_{вг1} - t_{вг2}). \quad (1)$$

Теплота рециркуляційних (екологічних) газів розраховується з урахуванням масової витрати рециркуляційних газів $G_{пр}$, їхньої теплоємності $c_{пр}$ і температури рециркуляційних газів на вході $t_{пр1}$ і на виході $t_{пр2}$ з генератора:

$$Q_{г,пр} = G_{пр} \cdot c_{пр} \cdot \Delta t_{пр} = G_{пр} \cdot c_{пр} \cdot (t_{пр1} - t_{пр2}). \quad (2)$$

Зміна кліматичних умов під час рейсу приводить до зміни теплового навантаження системи охолодження двигуна, холодопродуктивності Q_0 , необхідної для охолодження повітря на вході в двигун (від температури в машинному відділенні $t_{мв}$ до температури, наприклад $t_{п2} = 15^\circ\text{C}$) на Δt_{15} , та необхідного для рекуперації теплоти холодильною машиною споживання теплоти:

$$Q_{г} = Q_0 / \zeta. \quad (3)$$

Спільне використання ЕХМ і АБХМ може бути раціональним вирішенням обговорюваних питань. Доцільно використовувати переваги кожної з тепловикористовуючих холодильних машин. Використання ЕХМ вигідне, оскільки вони конструктивно простіші, складаються переважно з теплообмінників. Вони легко встановлюються на бортах і перегородках, в рефрижераторних і машинних відділеннях. Також доцільно використовувати високоефективні АБХМ, оскільки вони мають високий термічний коефіцієнт $\zeta = 0,6 \dots 0,7$.

Результати. На рис. 2 представлена розроблена схема охолодження повітря на вході суднового двигуна в АБХМ і рециркуляційних газів у ЕХМ. Це можливо за рахунок утилізації теплоти вихлопних і рециркуляційних (екологічних) газів.

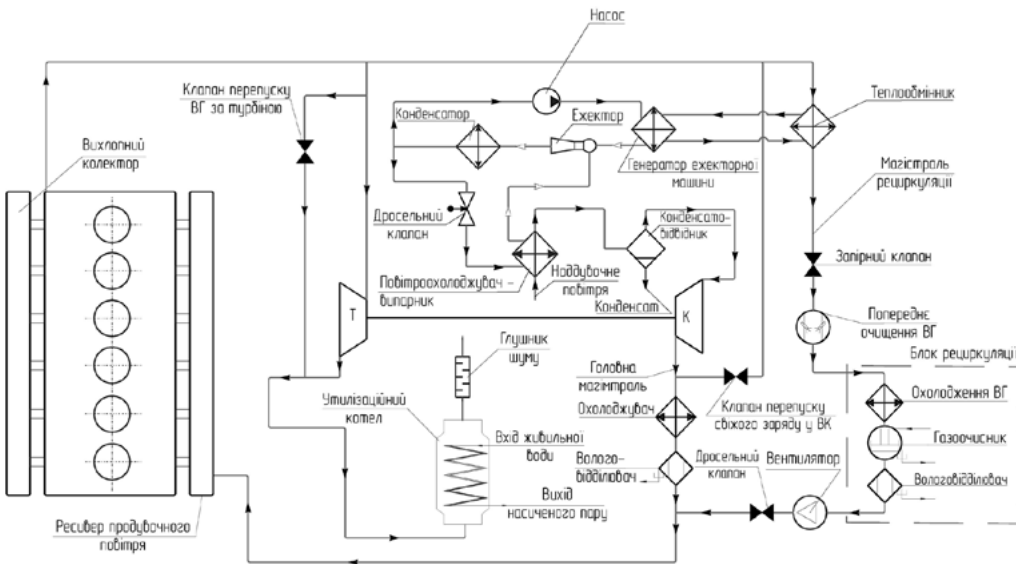


Рис. 2. Розроблена схема охолодження повітря на вході суднового двигуна в АБХМ і рециркуляційних газів у ЕХМ

Зниження температури повітря на вході в двигун шляхом утилізації теплоти рециркуляційних газів у ЕХМ (з тепловими коефіцієнтами $\zeta=0,2; 0,3$) і вихлопних газів в АБХМ (з тепловим коефіцієнтом $\zeta=0,6$) дозволяє знизити питому витрату палива (рис. 3).

Застосування такої схеми зменшує питому витрату палива. Кількісний ефект залежить від значень теплових коефіцієнтів ЕХМ і АБХМ.

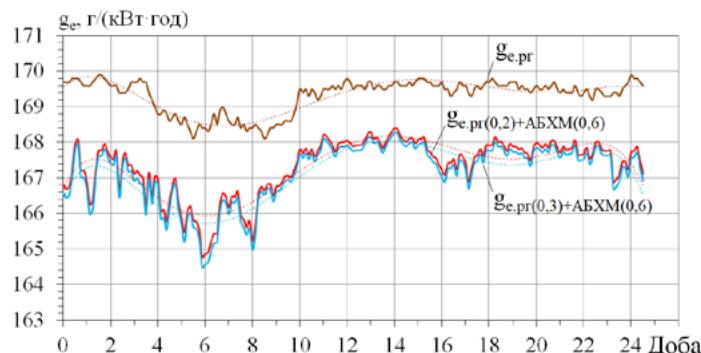


Рис. 3. Поточні значення питомої витрати палива базового двигуна з рециркуляцією газів $g_{e,pr}$, питомої витрати палива двигуном при охолодженні повітря на вході в двигун за рахунок рекуперації теплоти вихлопних газів у АБХМ ($\zeta=0,6$) і рециркуляційних газів у ЕХМ ($\zeta=0,2; 0,3$) під час рейсу

Питомі витрати палива при зниженні температури повітря на вході в судновий двигун за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих (екологічних) газів у ЕХМ (з тепловими коефіцієнтами $\zeta=0,2; 0,3$) і вихлопних газів у АБХМ (з тепловими коефіцієнтами $\zeta=0,7$) становить (рис. 4): $g_{e,pr(0,2)+АБХМ(0,7)} = 164,3 \dots 168,2$ г/(кВт·годину) ($\zeta=0,2$); $g_{e,pr(0,3)+АБХМ(0,7)} = 164,0 \dots 168,1$ г/(кВт·годину) ($\zeta=0,3$).

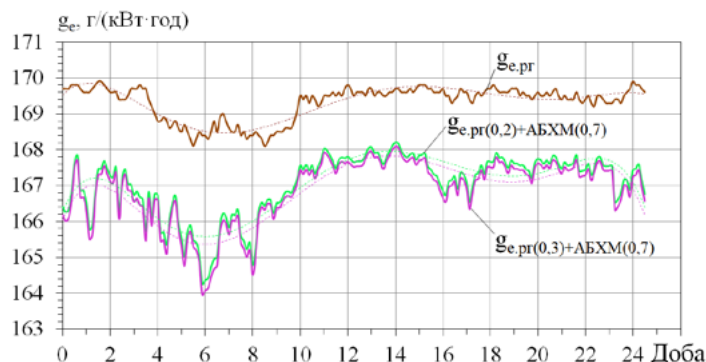


Рис. 4. Поточні значення питомої витрати палива базового двигуна з рециркуляцією газів $g_{e,pr}$, питомої витрати палива двигуном при охолодженні повітря на вході в двигун за рахунок рекуперації тепла вихлопних газів у АБХМ ($\zeta=0,7$) і рециркуляційних газів у ЕХМ ($\zeta=0,2; 0,3$) під час рейсу

Зниження температури повітря на вході в двигун за рахунок утилізації теплоти рециркуляційних (екологічних) газів у ЕХМ (з тепловими коефіцієнтами $\zeta=0,2; 0,3$)

і вихлопних газів у АБХМ (з тепловими коефіцієнтами $\zeta = 0,6; 0,7$) дозволяє збільшити загальну економію палива за рейс (рис. 5): $\Sigma B_{n(0,2)+ABXM(0,6)} = 11,0$ т (в ЕХМ $\zeta = 0,2$, в АБХМ $\zeta = 0,6$); $\Sigma B_{n(0,3)+ABXM(0,6)} = 11,9$ т (в ЕХМ $\zeta = 0,3$, в АБХМ $\zeta = 0,6$); $\Sigma B_{n(0,2)+ABXM(0,7)} = 12,5$ т (в ЕХМ $\zeta = 0,2$, в АБХМ $\zeta = 0,7$); $\Sigma B_{n(0,3)+ABXM(0,7)} = 13,5$ т (в ЕХМ $\zeta = 0,3$, в АБХМ $\zeta = 0,7$).

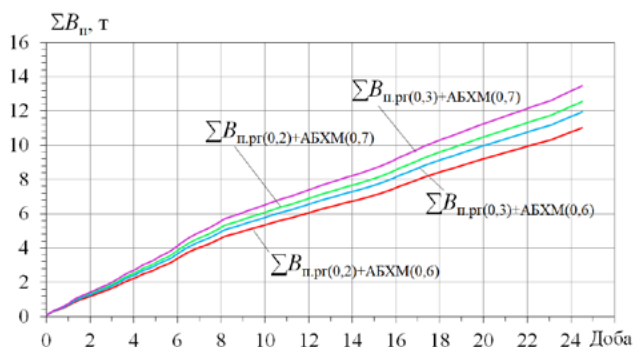


Рис. 5. Загальна економія палива за рейс $\Sigma B_{n(0,2)+ABXM(0,6)}$, $\Sigma B_{n(0,3)+ABXM(0,6)}$, $\Sigma B_{n(0,2)+ABXM(0,7)}$ та $\Sigma B_{n(0,3)+ABXM(0,7)}$ за рахунок повітряного охолодження на вході в двигун шляхом утилізації теплоти відпрацьованих газів у АБХМ ($\zeta = 0,6; 0,7$) і рециркуляційних газів у ЕХМ ($\zeta = 0,2; 0,3$)

Із рис. 5 видно, що система повітряного охолодження на вході в судновий двигун при утилізації відпрацьованих газів у АБХМ ($\zeta = 0,7$) і рециркуляційних газів у ЕХМ ($\zeta = 0,3$) є більш ефективною.

Нині ціни на високов'язке («важке») паливо зростають. Вартість палива IFO 380 для суднових двигунів становить 505 доларів США/т [14]. Протягом року судно може здійснити до 12 рейсів між портами Одеса та Шанхай.

При охолодженні повітря на вході в двигун за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих газів у АБХМ ($\zeta = 0,6$) і рециркуляційних газів у ЕХМ ($\zeta = 0,2; 0,3$) річна економія палива становить: $\Delta B_{п(0,2+0,6)} = 126,1$ т, $\Delta B_{п(0,3+0,6)} = 137,7$ т.

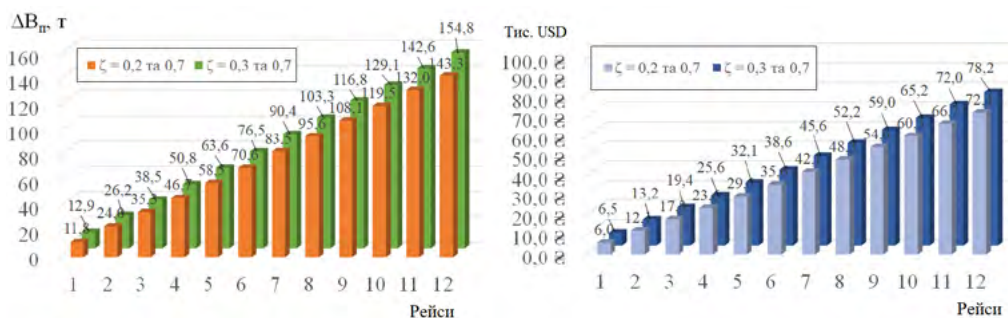


Рис. 6. Загальна величина зниження витрати палива на 1...12 рейсів Одеса-Шанхай (12 рейсів на рік) за рахунок повітряного охолодження на вході в двигун шляхом утилізації теплоти відпрацьованих газів у АБХМ ($\zeta = 0,7$) і рециркуляційних газів у ЕХМ: а – $\zeta = 0,2$; б – $\zeta = 0,3$

При охолодженні повітря на вході в двигун за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих газів у АБХМ ($\zeta = 0,7$) і рециркуляційних газів у ЕХМ ($\zeta = 0,2; 0,3$) річна економія палива (рис. 6, а і б) становить: $\Delta B_{п(0,2+0,7)} = 143,3$ т, $\Delta B_{п(0,3+0,7)} = 154,8$ т. Найбільша річна економія при спільному охолодженні повітря на вході в двигун за рахунок утилізації теплоти рециркуляційних (екологічних) газів у ЕХМ і вихлопних газів у АБХМ становить 78,2 тис. доларів США (ЕХМ $\zeta = 0,3$ і АБХМ $\zeta = 0,7$).

Використання системи рециркуляції відпрацьованих газів зі ступенем рециркуляції $K_r = 30\%$ зменшує кількість шкідливих викидів. У першу чергу це стосується NO_x і SO_x і становить (рис. 7): $\Delta g_{NO_x} = 10,2 \dots 10,6$ г/(кВт·годину); $\Delta g_{SO_x} = 2,2 \dots 2,4$ г/(кВт·годину).

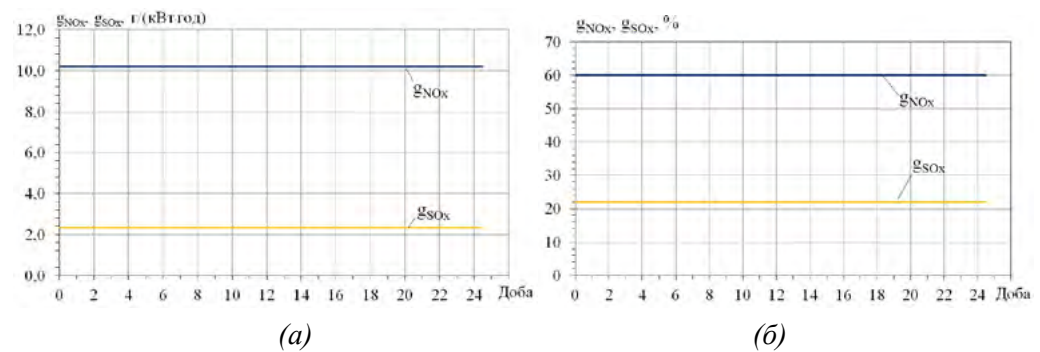


Рис. 7. Абсолютні (а) та процентні (б) значення скорочення викидів NO_x і SO_x при охолодженні повітря в тепловикористовуючих холодильних машинах під час рейсу судна при коефіцієнті рециркуляції $K_r = 30\%$

Розроблене схемне рішення системи циклічного повітряного охолодження двигуна дозволяє реалізувати методи узгодженої організації процесів трансформації теплоти та охолодження з урахуванням змінних під час рейсу зовнішніх параметрів.

Висновки. Комбіноване використання абсорбційних і ежекторних холодильних машин дає можливість раціоналізувати процеси охолодження на вході в двигун з різною ефективністю перетворення теплоти в холод. При цьому використовують переваги різних типів тепловикористовуючих холодильних машин: просту конструкцію і можливість поелементного розміщення ЕХМ в машинному відділенні (теплообмінники по бортах і на платформах) з низькими тепловими коефіцієнтами близько 0,3, й у той самий час високий ККД теплоперетворення (теплові коефіцієнти 0,6...0,7) в моноблочних АБХМ, що потребують окремих приміщень.

Більш ефективною є утилізація відпрацьованих газів системою повітряного охолодження повітря, що надходить у двигун, в АБХМ ($\zeta = 0,7$) і рециркуляційних газів у ЕХМ ($\zeta = 0,3$). У цьому випадку питома витрата палива $g_{с.пг(0,3)+АБХМ(0,7)} = 164,0 \dots 168,1$ г/(кВт·годину). Річна економія палива становить: $\Delta B_{п(0,3+0,7)} = 154,8$ т. Найбільша річна економія при спільному охолодженні повітря на вході в двигун за рахунок утилізації теплоти рециркуляційних (екологічних) газів у ЕХМ ($\zeta = 0,3$) і вихлопних газів у АБХМ ($\zeta = 0,7$).

Також це дозволяє підвищити екологічну енергоефективність суднової енергетичної установки: зменшити викиди NOX на 60%, SOX – на 21%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kumar J., Thirumala S. Effect of reformed EGR on the performance and emissions of a diesel engine: A numerical study. *Alexandria Engineering Journal*. 2018. No 57, pp. 517–525. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.01.008>.
2. MARPOL Consolidated edition 2020. URL: http://www.idgca.org/doc/app5_290115.pdf, last accessed 2020/04/10.
3. Nag S., Sharma P., Gupta A., Dhar A. Experimental study of engine performance and emissions for hydrogen diesel dual fuel engine with exhaust gas recirculation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44, No 23, pp. 12163–12175. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.120>.
4. Радченко Р.М., Пирисунько М.А. Метод рециркуляції відпрацьованих газів судових дизелів для зменшення їх токсичності. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2018. Vol. 54, No 4. pp. 11–16, Doi:10.15673/ret.v54i4.1215.
5. Pyrysunko M., Radchenko A., Tkachenko V. Marine Diesel Engine Inlet Air Cooling by Ejector Chiller on the Vessel Route Line. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE. 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_25.
6. Trushliakov E., Radchenko A., Radchenko M. The Efficiency of Refrigeration Capacity Regulation in the Ambient Air Conditioning Systems. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE. 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_33.
7. Konovalov D., Radchenko M., Kobalava H. Increasing Ecological and Energy Efficiency of Combustion Engines by Using a Thermopressor. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 367. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_40.
8. Konovalov D., Kobalava H., Radchenko M. Determination of hydraulic resistance of the aerothermopressor for gas turbine cyclic air cooling. In: *TE-RE-RD. 2020, E3S Web of Conferences 180, 0101231*. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018001012>.
9. MAN Diesel & Turbo. MAN B&W Two-stroke Marine Engines. Emission Project Guide. URL: https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/con-tent/special_pg/7020-0145-09_uk.pdf, last accessed 2019/06/22.

10. MAN Diesel Turbo. CEAS Engine Calculations. URL: <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>, last accessed 2019/06/22.
11. Radchenko R., Pyrysunko M., Kornienko V. Effect of Utilization Exhaust and Recirculation Gases of Ship Diesel Engine in Absorption Chiller. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 367. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_43.
12. METEOMANZ. URL: <http://meteomanz.com>, last accessed 2021/12/21.
13. NOAA's. URL: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/datawodgeo.html>, last accessed 2021/12/16.
14. Ship & Bunker. URL: <https://shipandbunker.com/prices#VLSFO>, last accessed 2020/04/10.

REFERENCES

1. Kumar, J., Thirumala, S. (2018). Effect of reformed EGR on the performance and emissions of a diesel engine: A numerical study. *Alexandria Engineering Journal*. 57, 517–525. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.01.008>
2. MARPOL Consolidated edition 2020, http://www.idgca.org/doc/app5_290115.pdf, last accessed 2020/04/10.
3. Nag, S., Sharma, P., Gupta, A., Dhar, A. (2019). Experimental study of engine performance and emissions for hydrogen diesel dual fuel engine with exhaust gas recirculation. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 44, 23, 12163–12175. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.120>
4. Radchenko, R.M., Pyrysunko, M.A. (2018). Metod retsyrukuliatsii vidpratso-vanykh haziv sudnovykh dyzeliv dlia zmeshennia yikh toksychnosti. *Refrigeration Engineering and Technology*, Vol. 54, 4, 11-16, doi:10.15673/ret.v54i4.1215 [in Ukrainian].
5. Pyrysunko, M., Radchenko, A., Tkachenko, V., Zubarev, A., Andreev, A. (2022). Marine Diesel Engine Inlet Air Cooling by Ejector Chiller on the Vessel Route Line. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_25
6. Trushliakov, E., Radchenko, A., Radchenko, M., Kantor, S., Zielikov, O. (2020). The Efficiency of Refrigeration Capacity Regulation in the Ambient Air Conditioning Systems. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_33
7. Konovalov, D., Radchenko, M., Kobalava, H., Pyrysunko, M., Andreev, A. (2022). Increasing Ecological and Energy Efficiency of Combustion Engines by Using a Thermopressor. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 367. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_40

8. Konovalov, D., Kobalava, H., Radchenko, M., Scurtu, I.C., Radchenko, R. (2020). Determination of hydraulic resistance of the aerothermopressor for gas turbine cyclic air cooling. In: TE-RE-RD 2020, E3S Web of Conferences 180, 0101231. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018001012>
9. MAN Diesel & Turbo. MAN B&W Two-stroke Marine Engines. Emission Project Guide, https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special_pg/7020-0145-09_uk.pdf, last accessed 2019/06/22
10. MAN Diesel Turbo. CEAS Engine Calculations, <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>, last accessed 2019/06/22
11. Radchenko, R., Pyrysunko, M., Kornienko, V., Gorbov, V., Kalinichenko, I. (2022). Effect of Utilization Exhaust and Recirculation Gases of Ship Diesel Engine in Absorption Chiller. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 367. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_43
12. METEOMANZ, <http://meteomanz.com>, last accessed 2021/12/21
13. NOAA's, <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/datawodgeo.html>, last accessed 2021/12/16
14. Ship & Bunker, <https://shipandbunker.com/prices#VLSFO>, last accessed 2020/04/10