



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО**

ХІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

УДК 621.565 (075.6)

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНАХТ, 2019. – 229 с.

У збірнику наведені матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та криогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

В сборнике представлены материалы XII Всеукраинской научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии» и рассмотрены различные аспекты научно-технических вопросов, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией холодильного оборудования различного назначения, исследованием рабочих тел и процессов в элементах холодильных и криогенных систем, применением нано и когенерационных технологий, использованием холода в пищевых технологиях, применением и внедрением нетрадиционных источников энергии.

Відповідальність за достовірність інформації несе автор публікації.
Матеріали публікуються мовою оригінала, наданого автором.

Голова наукового комітету – Єгоров Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, член-кореспондент НААН України, Заслужений діяч науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

Заступник голови – Косой Борис Володимирович – директор Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, д-р техн. наук, професор.

Члени наукового комітету:

Ванєєв Сергій Михайлович - Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

Василенко Сергій Михайлович - Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор;

Железний В.П. - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Лабай Володимир Йосипович - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

Лавренченко Г.К. - д-р техн. наук, професор;

Мілованов В.І. - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

Морозюк Л.І. - д-р техн. наук, професор;

Потапов Володимир Олексійович - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Семенюк В.А. - к.т.н., директор НПФ «Терміон»;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор;

Снежкін Юрій Федорович - директор Інституту технічної теплофізики, д.т.н., академік НАНУ

Ткаченко Станіслав Йосипович - д.т.н., професор Вінницького національного технічного університету;

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

Щит Михайло Львович - к.т.н., пров. наук. спів. Інституту енергетики Академії Наук Молдови.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова – проф. Хмельнюк М.Г.

Науковий секретар – к.т.н. Зімін О.В.

Члени – к.т.н. Жихарєва Н.В., к.т.н. Когут В.Є., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С.

ТЕМИ ДОКЛАДОВ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

110 РОКІВ ПРОФЕСОРУ ЧУКЛІНУ СЕРГІЮ ГРИГОРОВИЧУ (1909-1974)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.И. Радченко, д.т.н., проф., Е.И. Трушляков, к.т.н., проф., А.Н. Радченко, к.т.н., доц.,
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

АЗОТНЫЕ ГАЗИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Кириченко И.В., технический директор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса;
Леонтьев А.А., главный конструктор ПКФ «Криопром» ООО, г. Одесса.
e - mail: info@krioprom.com.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОЗОНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Жихарева Н.В., к.т.н., доц., Одеська національна академія харчових технологій

СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.		стр.
19.	МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ РЕЖИМОВ В ПЛОТНОМ ПРОДУВАЕМОМ СЛОЕ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ	68
20.	АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АНОДНОГО БЛОКА МАГНЕТРОНА	71
21.	ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ХОЛОДОАГЕНТІВ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ІЗОТЕРМІЧНИХ НАПІВПРИЧЕПІВ THERMO-KING В УКРАЇНІ	73
22.	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЗАМКНУТЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ С РАЗЛИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	75
23.	ЕНЕРГЕТИЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОТРИМАННІ БІОПЕСТИЦИДІВ	78
24.	ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ПІД ЧАС КОНДЕНСАЦІЇ ПАРИ У ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРУБАХ	80
25.	ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ	82
26.	ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ	85
27.	КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ЗАСОБІВ СКОРОЧЕННЯ ВТРАТ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ ПРИ ЗБЕРІГАННІ	88
28.	ПІДВИЩЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ УКРАЇНИ	90
29.	ШТУЧНЕ ЗАМОРОЖУВАННЯ-ВІДТАВАННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД	93
30.	ПЕРСПЕКТИВНІ СХЕМИ І КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ОХОЛОДЖУЮЧИХ ЗЕРНОВИХ КОМПЛЕКСІВ	95
31.	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ ЛАВРОВОГО ЛИСТА ЗРІДЖЕНИМ ГАЗОМ	98
32.	ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МАГНЕТРОНА	100
33.	СИСТЕМА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ДВОСТУПЕНЕВОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ АВТОНОМНИХ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	103
34.	АНАЛИЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОСТУПЕНЕВОЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ АВТОНОМНОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	105
35.	ОХОЛОДЖЕННЯ ЦИКЛОВОГО ПОВІТРЯ СУДНОВОГО ДВИГУНА ЕЖЕКТОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ГАЗІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	107
36.	ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ БЛОКІВ АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СИСТЕМ ТА РАДІУСІВ ЗОН МОЖЛИВИХ РУЙНУВАНЬ	111

УДК 621.444:629.5.03-8

ОХОЛОДЖЕННЯ ЦИКЛОВОГО ПОВІТРЯ СУДНОВОГО ДВИГУНА ЕЖЕКТОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ГАЗІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГОЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

**Пирисунько М.А., викладач, Національний університет кораблебудування ім. адмірала
Макарова, Херсонська філія, Херсон, Україна
maximka1786@gmail.com**

Нове законодавство про викиди є основною рушійною силою в розвитку характеристик суднових двигунів. У минулому акцент робився на підвищенні ефективності двигуна, але з вступом в силу більш суворого законодавства акцент змістився в бік скорочення викидів, зокрема оксидів азоту (NOx) і оксидів сірки (SOx).

Найбільш жорсткі вимоги, що вироблені для районів контролю шкідливих викидів - Emission Control Areas (ECA), до яких сьогодні відносяться: Балтійське і Північне моря (ECA 1), прибережні води США і Канади (ECA 2), Середземне море (ECA 3), узбережжя Японії (ECA 4) і ряд інших акваторій [6; 7]. Процес створення екологічних зон незворотній, буде в подальшому посилюватися і поширюватися на інші регіони. Уже зараз це вносить значні зміни в діяльність судноплавних і бункерувальних компаній, збільшує витрати судновласників і підвищує фрахтові ставки. При цьому повинен бути знайдений баланс між екологічністю, безпекою, економічною ефективністю і технічною реалізацією рішень, що забезпечують виконання нових вимог.

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. І хоча в 2020 році повинні вступити в силу нові глобальні правила перевезень для скорочення забруднення сіркою, її вміст в паливі все одно буде в 500 разів більше, ніж в автомобільному дизелі. На судноплавство також приводиться до 15 % світових викидів NOx і 3 % викидів CO₂, 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. Через екологічні проблеми Міжнародна морська організація (ІМО) випустила серію протоколів, що обмежують викиди, дозволені дизельними двигунами.

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.

Система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR - Exhaust Gas Recirculation) є однією із перспективних методів зниження кількості шкідливих викидів судновими двигунами. Принцип роботи системи заснований на поверненні певної кількості відпрацьованих газів назад у впускний колектор. Далі, змішуючись з повітрям і паливом, впускні гази надходять назад в циліндри двигуна разом з новою паливо-повітряною сумішшю. Скорочення викидів NOx практично лінійне до степені рециркуляції відхідних газів [1-4, 7].

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 EXM розглянуто для суднового малообертового дизельного двотактного двигуна MAN B&W марки 6G70ME-C9.5. Для аналізу параметрів системи рециркуляції та характеристик двигуна використовувався програмний комплекс CEAS фірми-виробника MAN [3]. Розрахунок проведено для наступних експлуатаційних характеристик двигуна (при умовах ISO): навантаження на двигун NMCR = 90 %; потужність N_e =

19656 кВт; частота обертання $n_e = 80,1 \text{ хв}^{-1}$; питома витрата умовного палива $g_e = 169,8 \text{ г/(кВт·год)}$. Система рециркуляції газів (EGR) зі скруббером і охолоджувачем газу відповідає умовам екологічності Tier III.

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 $t_{п}$, температура забортної води t_w , вологовміст зовнішнього повітря $d_{п}$ і відносна вологість $\varphi_{п}$ від доби рейсу судна (Рис. 1).

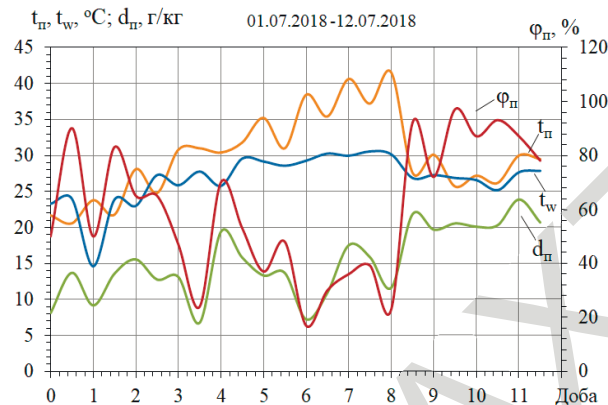


Рис. 1. Залежності температури зовнішнього повітря $t_{пв}$ і забортної води t_w , вологовмісту зовнішнього повітря $d_{пв}$ і відносної вологості $\varphi_{пв}$ упродовж рейсу судна Одеса- Йокогама

Параметри роботи тепловикористовуючого контуру на основі ЕХМ розраховувалися за відомими рівняннями та методикою, також за допомогою розробленого на кафедрі кондиціонування та рефрижерації НУК власного програмного комплексу.

Характеристики ЕХМ: холодоагент – R142b; температури кипіння у випарнику-охолоджувачі повітря $t_0 = 5\text{--}10 \text{ }^\circ\text{C}$; кипіння в генераторі $t_g = 80\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким чином, для порівняльного аналізу обрано при наведених умовах для ЕХМ наступні показники теплового коефіцієнту: $\zeta = 0,3; 0,35; 0,4$.

Розроблено та проаналізовано схемне рішення із застосуванням тепловикористовуючої ЕХМ (Рис. 2). Система рециркуляції працює наступним чином: відхідні гази кількістю від 10 до 40 % через клапан з ресиверу відпрацьованих газів подаються в скруббер, 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.

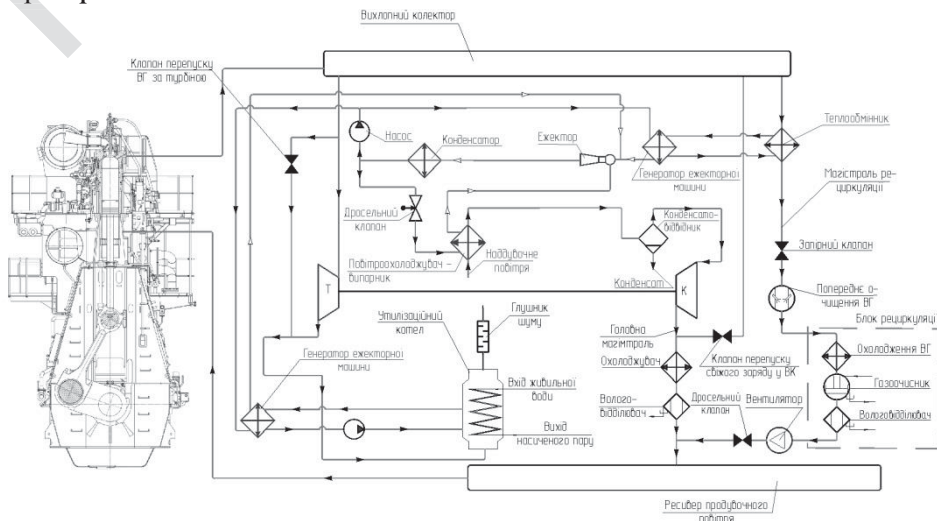


Рис. 2. Схема системи EGR з малообертового двигуна фірми MAN із тепловикористовуючою EXM

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

Результати дослідження роботи тепловикористовуючої EXM з різними тепловими коефіцієнтами $\zeta = 0,3; 0,35; 0,4$ показують, що холодопродуктивність (Рис. 3) 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 EXM 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 сірчистоокислої корозії). Така ефективність EXM дозволяє забезпечити зниження температури повітря перед турбокомпресором двигуна відповідно на: $\Delta t_{п(0,3)} = 4,1\text{--}11,9$ °С ($\zeta = 0,3$); $\Delta t_{п(0,35)} = 4,7\text{--}13,9$ °С ($\zeta = 0,35$); $\Delta t_{п(0,4)} = 5,4\text{--}15,9$ °С ($\zeta = 0,4$).

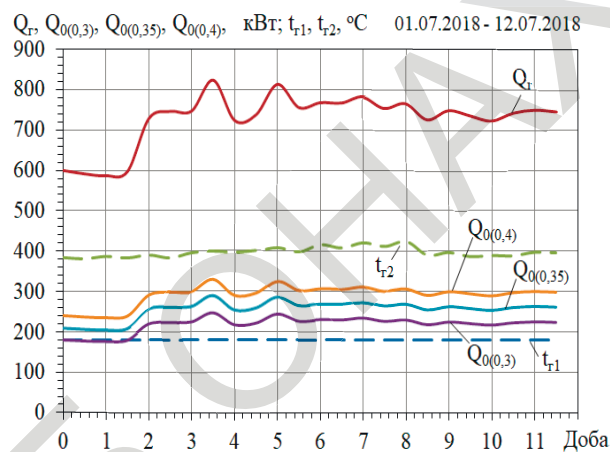


Рис. 3. Залежності температури відхідних газів на виході з колектору $t_{2,2}$, температури газів на виході з генератора холодильної машини $t_{2,1}$, теплового навантаження на генератор холодильної машини Q_r , холодопродуктивності випарника при різних теплових коефіцієнтах $Q_{0(0,3)}$, $Q_{0(0,35)}$, $Q_{0(0,4)}$ від доби рейсу судна

Зниження температури повітря на вході забезпечує зниження питомої витрати умовного палива (Рис. 4) 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) ($\zeta = 0,4$).

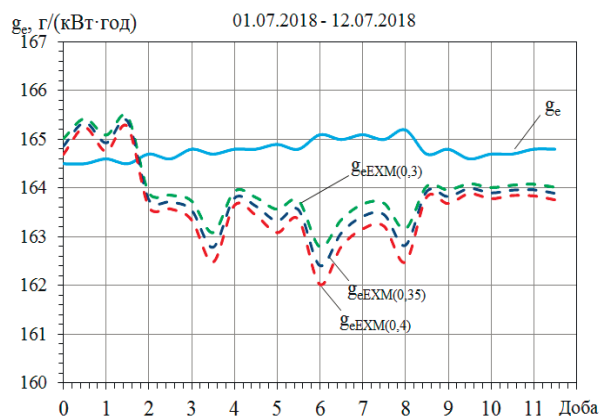


Рис. 4. Залежності питомої витрати умовного палива g_e , питомої витрати палива g_{eEXM} при охолодженні ежекторною холодильною машиною повітря на вході від доби рейсу судна "Одеса-Йокогама" при різних теплових коефіцієнтах $\zeta = 0,3; 0,35; 0,4$

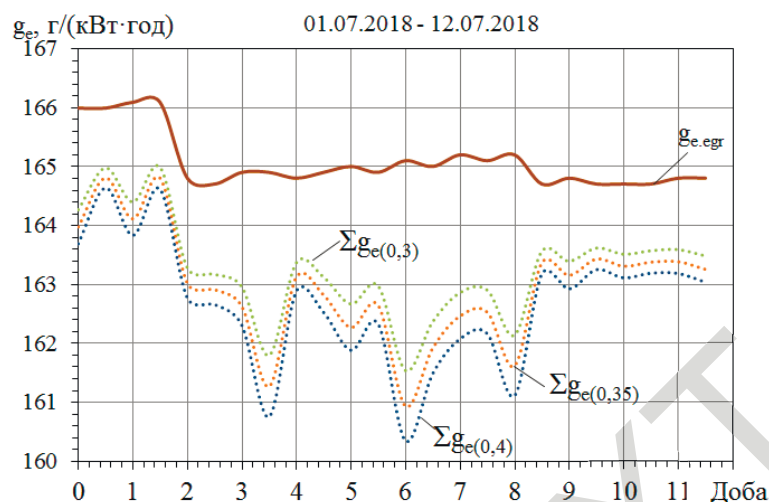


Рис. 5. Залежності питомої витрати умовного палива $g_{e.egr}$ двигуна з системою EGR, питомої витрати палива Σg_e при охолодженні EXM повітря на вході та охолодженні рециркуляційних газів від доби рейсу судна "Одеса-Йокогама" при різних теплових коефіцієнтах $\zeta = 0,3; 0,35; 0,4$

Сумарний ефект від сумісного зниження температури повітря на вході та рециркуляційних газів відображається на питомій витраті умовного палива (Рис. 5) і складає: $\Sigma g_e(0,3) = 1,0\text{--}3,1$ г/(кВт год) ($\zeta = 0,3$); $\Sigma g_e(0,35) = 1,2\text{--}3,6$ г/(кВт год) ($\zeta = 0,35$); $\Sigma g_e(0,4) = 1,4\text{--}4,1$ г/(кВт год) ($\zeta = 0,4$).

Висновок. Запропоновано схемно-конструктивне рішення системи рециркуляції випускних газів суднового головного двигуна з використанням їх теплоти ежекторною холодильною машиною для охолодження повітря на вході. Ефект від використання теплоти рециркуляційних газів для охолодження повітря на вході про-аналізовано 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 5–15 °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).

Список літератури

1. 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.
2. Greenhouse Gas Emissions from Global Shipping, 2013–2015. The International Council on Clean Transportation.—October, 2017.— 38 p.
3. MAN Diesel Turbo, «CEAS Engine Calculations,» 2019. [Онлайновий]. Available: <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>.
4. MAN Diesel & Turbo, MAN B&W Two-stroke Marine Engines. Emission Project Guide [Online], available at: https://marine.man-es.com/applications/project-guides/2stroke/content/special_pg/7020-0145-09_uk.pdf. - Accessed 9 October 2018.
5. 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. [Online], available at: <http://www.ijejournal.com/papers/v1i12/E01123944.pdf>