



**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

ЗМІСТ

| | СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ. | стр. |
|-----|--|------|
| 1. | УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ СУДНОВОГО ДВИГУНА ЕЖЕКТОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ З ОХОЛОДЖЕННЯМ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ | 10 |
| 2. | ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ | 14 |
| 3. | СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ | 17 |
| 4. | ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АЕРОТЕРМОПРЕСОРИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ CFD МОДЕЛЮВАННЯ | 20 |
| 5. | ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ АЭРОТЕРМОПРЕССОРНОГО АПАРАТА ДЛЯ СИСТЕМ КОНТАКТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ | 22 |
| 6. | МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ХОЛОДОПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ | 24 |
| 7. | ВИЗНАЧЕННЯ ПРОЕКТНОГО ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ В КОНКРЕТНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ | 28 |
| 8. | ПОДХОД К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ | 32 |
| 9. | ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ПОВІТРЯ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ | 36 |
| 10. | АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ ГАЗОПОРШНЕВОЇ УСТАНОВКИ | 41 |
| 11. | ВДОСКОНАЛЕННЯ ТРИГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ | 46 |
| 12. | ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ ГТУ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ | 52 |
| 13. | ТЕПЛОНАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДВЗ | 54 |
| 14. | ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА НА ПАЛИВНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ | 57 |
| 15. | UKRAINIAN ENERGY POLICY DEVELOPMENT. INTERNATIONAL EXPERIENCE | 60 |
| 16. | THE CYCLE ENSURING UNINTERRUPTED OPERATION OF THE CONTACT HEAT EXCHANGER | 62 |
| 17. | ОХОЛОДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ | 64 |
| 18. | АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ БЫТОВОЙ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ | 67 |

СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.

УДК 621.444:629.5.03-8

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ СУДНОВОГО ДВИГУНА ЕЖЕКТОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ З ОХОЛОДЖЕННЯМ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ

**Пирисунько М.А., викладач, Національний університет кораблебудування ім. адмірала
Макарова, Херсонська філія, Херсон, Україна, maximka1786@gmail.com
Радченко Р.М., к.т.н., доцент, Національний університет кораблебудування ім. адмірала
Макарова Миколаїв, Україна, e-mail: nirad50@gmail.com**

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.

Утворення таких шкідливих газів, як діоксид вуглецю CO_2 , оксидів азоту NO_x , монооксиду вуглецю CO , оксидів сірки SO_x та інш. залежить від організації робочих процесів в ДВЗ. Вельми ефективним шляхом екологізації суднових ДВЗ є штучна нейтралізація шкідливих речовин у відхідних газах, наприклад, рециркуляція газів (EGR-технологія). Однак, використання таких технологій вступає в протиріччя із енергетичною ефективністю ДВЗ, адже заходи зі зменшення викидів вимагають додаткових зовнішніх витрат.

Рециркуляція відхідних газів за технологією EGR є методом, що значно зменшує формування NO_x у суднових дизельних двигунах. Його застосування повністю задовольняє вимогам Tier III стосовно NO_x . 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 CO_2 . Це, в свою чергу, зменшує вміст кисню O_2 і швидкість горіння, тим самим знижуючи його максимальну температуру, а відтак і інтенсивність утворення NO_x [1].

Як показали дослідження [2], застосування рециркуляції з $K_p = 10\%$ знижує NO_x 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%.

Оскільки молекули CO_2 і води мають більш високу теплоємність, то дещо знижується температура згоряння. Підвищення витрати газів дає близько 93% ефекту зниження температури відхідних газів, тоді як збільшення питомої теплоємності – близько 7% [1]. Охолодження рециркуляційних газів призводить до зменшення викидів NO_x при порівнянних ступенях рециркуляції K_p . Цей ефект більш значущий при великих ступенях рециркуляції [2].

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 наступним 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 6G70ME-C9.5. Для аналізу параметрів системи рециркуляції та характеристик двигуна використовувався програмний комплекс SEAS 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 $n_e = 80,1$ хв⁻¹; питома витрата умовного палива $g_e = 169,8$ г/(кВт·год). Система рециркуляції 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 Амстердаму, що здійснювався з 09.07.2019 по 20.07.2009 р. Дані зміни кліматичних умов протягом рейсу (температура зовнішнього повітря $t_{нв}$, температура забортної води t_w , вологовміст зовнішнього повітря $d_{нв}$ і відносна вологість $\phi_{нв}$ від доби рейсу судна (рис. 1).

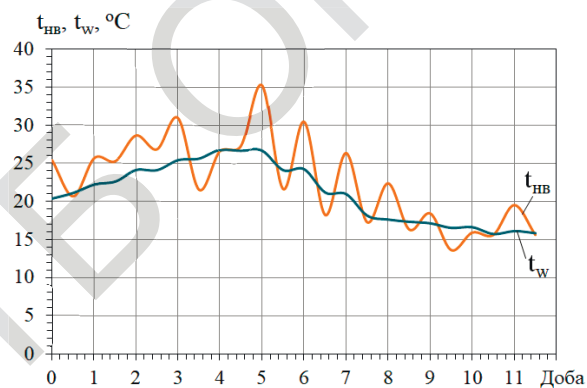


Рис. 1. Залежності температури зовнішнього повітря $t_{нв}$ і забортної води t_w , вологовмісту зовнішнього повітря $d_{нв}$ і відносної вологості $\phi_{нв}$ упродовж рейсу судна Одеса-Амстердам

Характеристики ЕХМ: холодоагент – R142b; температури кипіння у випарнику-охолоджувачі повітря $t_0 = 3-7$ °С; кипіння в генераторі $t_g = 100-120$ °С; конденсації $t_c = 30-35$ °С.

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 скрубєр, де вони частково охолоджуються і очищуються при розпиленні води форсунками. Потім гази охолоджуються в теплообміннику-охолоджувачі газу, конденсат відводиться конденсатовідводником, а очищений і охолоджений газ подається вентилятором у повітряний ресивєр, де він змішується із повітрям від турбокомпресора.

Теплота рециркуляційних газів відводиться до генератору ЕХМ, розташованим перед скрубєром. 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 холодопродуктивність (рис. 3) становить $Q_{0(0,3)} = 430\text{--}450$ кВт ($\zeta = 0,30$). Теплове навантаження на генератор ЕХМ $Q_r = 1450\text{--}1520$ кВт при відповідному зниженні температури газу в генераторі (перед скруббером) від $t_{r1} = 360\text{--}410$ °С до $t_{r2} = 180$ °С прийнято з урахуванням запобігання небезпеці виникнення низькотемпературної сірчистоокислої корозії.

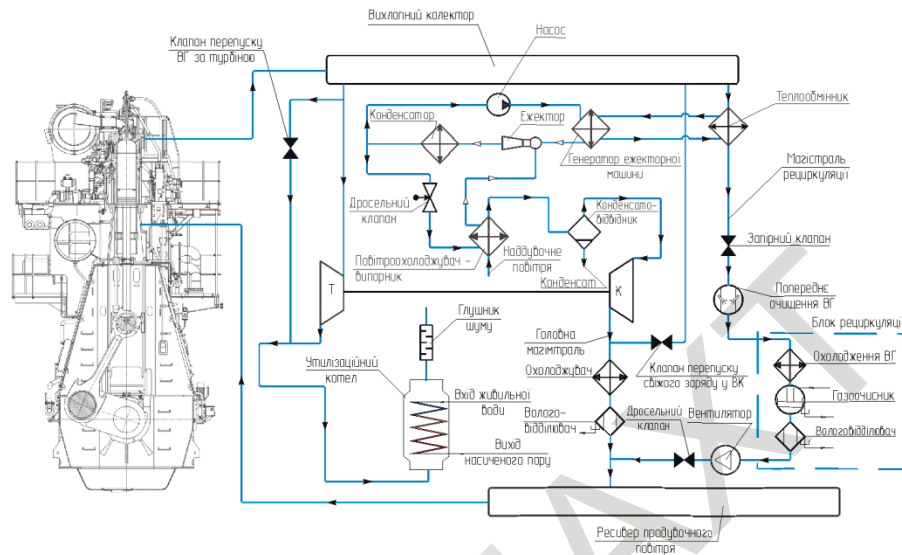


Рис. 2. Схема системи рециркуляції з байпасом малообертового двигуна фірми MAN із тепловикористовуючою ЕХМ

Застосування ЕХМ забезпечує зниження температури повітря перед турбокомпресором на: $\Delta t_{п(0,3)} = 5,1\text{--}8,0$ °С ($\zeta = 0,30$); $\Delta t_{п(0,35)} = 5,7\text{--}9,4$ °С ($\zeta = 0,35$).

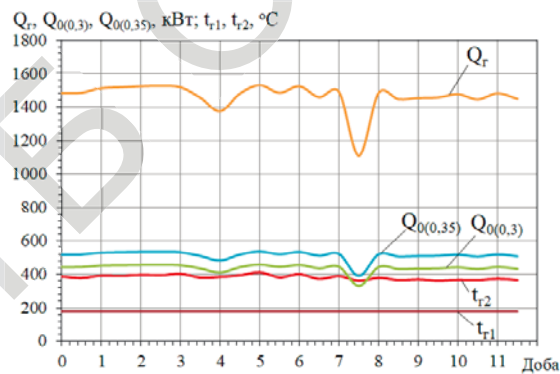


Рис. 3. Зміна температури відхідних газів на виході з колектору t_{21} , на виході з генератора ЕХМ t_{22} , теплового навантаження на генератор Q_r , холодопродуктивності ЕХМ при різних теплових коефіцієнтах $Q_{0(0,3)}$, $Q_{0(0,35)}$ упродовж рейсу судна

Зниження температури повітря на вході забезпечує скорочення питомої витрати умовного палива на $\Delta g_{e(0,3)} = 0,5\text{--}0,7$ г/(кВт год) ($\zeta = 0,30$).

Висновок. Розроблено 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 проаналізовано для двигуна фірми MAN 6G70ME-C9.5 з урахуванням змінних кліматичних умов упродовж рейсу судна "Одеса-Амстердам".

Список літератури

1. Ghosh, S. and Dutta, D., "The Effects of EGR on the Performance and Exhaust Emissions of a Diesel En-gine Operated on Diesel Oil and Pongamia Pinata Methyl Ester (PPME)", International Journal of En-gineering 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 igni-tion engine", Alexandria Engineering Journal, 51 (4),- 2012. - 241-247.
3. MAN Diesel Turbo, «CEAS Engine Calculations,» 2019. [Онлайновий]. Available: <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>.

НАТБ ОНАХТ