



**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 ТЕХНОЛОГІЙ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

27-28 вересня 2019 року

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ КОНФЕРЕНЦІЇ



ОДЕСА 2019

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.

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

	стр.
СЕКЦІЯ № 1. ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ. КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.	
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 ХОЛОДИЛЬНЫХ 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. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ БЫТОВОЙ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	67

УДК 621.444:629.5.03-8

ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Андрєєв А.А., к.т.н., доцент, Пирисунько М.А., викладач, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсонська філія, Херсон, Україна
andreev.cme@gmail.com

Основним судновим джерелом забруднення навколишнього середовища є головні і допоміжні двигуни енергетичних установок. В якості головних суднових двигунів домінують дизельні. Морська транспортна індустрія стикається з підвищеними вимогами по скороченню шкідливих викидів дизельними двигунами.

Відпрацьовані гази (ВГ) дизелів являють собою складну газову суміш, яка містить більше 200 компонентів [1]. Чотири компоненти азот (N_2), кисень (O_2), діоксид вуглецю (CO_2) і вода (H_2O) становлять 99-99,9% обсягу ВГ. З точки зору екології вони не представляють інтересу, оскільки нетоксичні. Решта 0,1-1% обсягу ВГ - компоненти, які представляють екологічну небезпеку. Їх небезпеку прийнято оцінювати двома характеристиками: токсичністю і димністю. Під токсичністю ВГ розуміють газоподібні компоненти, які мають шкідливий вплив на навколишнє середовище, живу природу і людину. Серед безлічі токсичних компонентів приблизно 80-95% припадає на частку п'яти з них (табл. 1) [2]. Ступінь їх шкідливості різна і в відносному вигляді може бути виражена співвідношенням: $CO : CH_x : SO_x : NO_x : RCHO = 1 : 2 : 16 : 40 : 40$

У переліку основних токсичних компонентів безперечно лідирують оксиди азоту. В ВГ дизелів міститься близько 10 сполук азоту з киснем, але домінантою є NO, його частка становить 95-98% від усіх оксидів. Решта 2-5% - вищі оксиди азоту: NO_2 ; N_2O ; N_2O_3 [3].

Вирішення проблеми забруднення повітряного басейну Світового океану викидами шкідливих речовин, в тому числі оксидами азоту NO_x з ВГ суднових дизелів пов'язано, перш за все, зі створенням високоефективних технологій зниження концентрації NO_x на випуску з дизельної установки, і це повною мірою відноситься як до суден, які проектується і будуються, так і до суден, що знаходяться в експлуатації.

Законодавчим органом для нормування екологічних показників судових ДВЗ є Міжнародна Морська Організація (ІМО).

Розроблені нею і діючі з 1 січня 2011 р технічні норми ІМО Tier II стосуються тільки викидів оксидів азоту. З 2016 року введено новий стандарт ІМО Tier III, в якому гранично допустимий вміст NO_x у відпрацьованих газах знижено майже в 4 рази [2]. Таке різке посилення нормативів на викиди забруднюючих атмосферу речовин змушує виробників двигунів постійно вишукувати все нові і нові технічні рішення, які покращують екологічні показники дизелів. На даний час склалася ситуація, коли розвиток сучасних ДВЗ і їх конкурентоспроможність визначаються головним чином наявністю засобів, що дозволяють знизити викиди шкідливих речовин до рівня відповідних екологічних вимог.

Сучасні вимоги щодо обмеження викидів NO_x і SO_x регулюються положенням VI Конвенції МАРПОЛ, прийнятої Міжнародною морською організацією (ІМО). Вони стосуються спеціальних райо-нів контролю за викидами (Emission Control Area – ECA), та спеціальних районів контролю за ви-кидами сірки (Sulfur Emission Control Area - SECA), в яких норми викидів значно знижені (NO_x до 3,4 г/(кВт·годину), SO_x до нуля), а кількість таких районів зростає з кожним роком.

В зонах контролю за викидами можуть обмежуватись викиди SO_x або NO_x , або всіх трьох видів викидів із суден.

До існуючих зон контролю викидів входять:

- Балтійське море (SO_x , прийнято: 1997 / вступив в силу 2005 р.);
- Північне море (SO_x , 2005/2006);

- Балтійське море та Північне море SECAs (Sulfur Emission Control Area) - рівень SO_x у паливі встановлений 0,1% з 1 січня 2015 року);

- Північноамериканська зона, включаючи більшість побережжя США та Канади (NO_x та SO_x, 2016/2012);

- Американський Карибський басейн, включаючи Пуерто-Ріко та Американські Віргінські острови (NO_x та SO_x, 2011/2014).

Методи зниження викидів оксидів азоту і частинок прийнято розділяти на внутрішні (первинні) і зовнішні (вторинні).

До внутрішніх методів належать ті, в яких зниження шкідливих викидів досягається за рахунок впливу на внутрішньоциліндрові процеси утворення шкідливих компонентів. Серед цих методів найбільше застосування отримали:

- підвищення максимального тиску згоряння;
- застосування багатоотворних розпилювачів форсунок;
- підвищення тиску упорскування палива;
- множинне впорскування палива;
- оптимізація конструкції камери згоряння;
- оптимізація подачі повітря.

Серед зовнішніх способів зменшення шкідливих викидів з ВГ слід виділити такі:

- очищення ВГ від шкідливих компонентів поза двигуном за допомогою спеціальних при-строїв і фільтрів;

- відновлення оксидів азоту в присутності спеціального каталізатора і при наявності відновника, в якості якого зазвичай використовується водний розчин сечовини.

- поліпшення якості палива і використання альтернативних палив.

Світовий прогрес та екологічні проблеми потребують більш нових, екологічних та економічних рішень. Ми розглянемо як спосіб покращення екологічних показників суднових ДВЗ систему рециркуляції відпрацьованих газів, основний принцип роботи якої зображено на рис. 1.

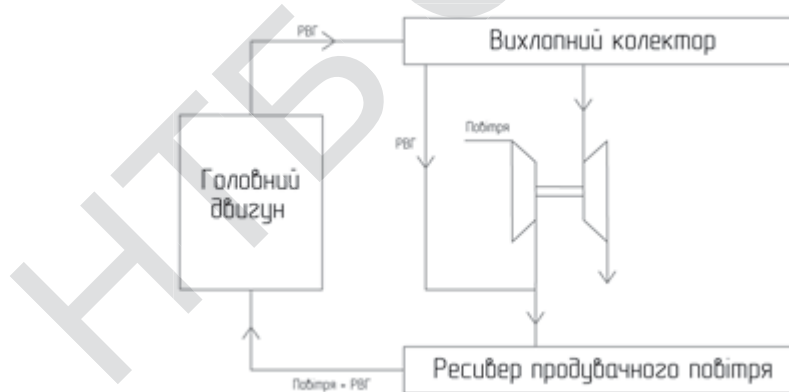


Рис. 1. Основний принцип рециркуляції відпрацьованих газів

Рециркуляція ВГ (від. англ. Exhaust Gas Recirculation (EGR)) - це спосіб значно зменшити утворення NO_x в суднових дизельних двигунах.

Використовуючи цей метод, з'являється можливість виконання вимог Tier III.

В системі рециркуляції, після процесу охолодження і очищення, частина ВГ повертається в ресивер свіжого заряду. Таким чином, частина кисню в свіжому заряді замінюється CO₂, що міститься у вихідних газах після процесу згоряння. Ця заміна зменшує вміст O₂ і збільшує теплоємність свіжого заряду, тим самим знижуючи температурний пік згоряння і утворення NO_x.

Для систем рециркуляції використовуються дві різні схеми [4]:

1. Система з байпасом, сконфігурованим тільки з одним турбонагнітачем, що використовується для двигунів з діаметром циліндра до 700 мм;

2. Система (T/C cut-out) сконфігурована з двома або більше турбонагнітачами і використовується для двигунів діаметром циліндра понад 800 мм.

Кількість газів, що перепускаються на свіжий заряд, характеризується ступенем рециркуляції, який виражається відношенням:

$$k_R = (M_R / M_R + M_B) 100\%$$

де M_R , M_B - маса перепускаемого газу і повітря в циліндрі двигуна.

Мета дослідження – оцінка зменшення викидів оксидів азоту за різних схемних рішень системи рециркуляції відпрацьованих газів (РВГ) суднових дизелів та оцінка ефективності попереднього охолодження повітря судового головного двигуна ежекторною холодильною машиною (ЕХМ) за рахунок використання теплоти відхідних газів системи рециркуляції.

Розроблено та проаналізовано схемне рішення із застосуванням тепловикористовуючої ЕХМ. Система рециркуляції байпасуванням 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 конденсатвідводнику, а очищений і охолоджений газ подається в вентилятором в повітряний ресивер, де він змішується із повітрям, що йде від турбокомпресора.

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). Для розглянутого двигуна MAN B&W марки 6G70ME-C9.5 питома витрата палива збільшується в середньому на 5 г/(кВт год). При цьому степінь рециркуляції протягом рейсу складає $K_p = 15\text{--}17\%$, витрата відхідних газів, що йдуть на рециркуляцію складає $G_{r,p} = 6\text{--}7$ кг/с при загальній витраті $G_g = 38\text{--}39$ кг/с. Витрата "свіжого" повітря на турбокомпресор двигуна складає $G_{n,egr} = 37\text{--}38$ кг/с – з рециркуляцією та $G_n = 43\text{--}45$ кг/с – без рециркуляції відхідних газів.

Результати дослідження роботи тепловикористовуючої ЕХМ з різними тепловими коефіцієнтами $\zeta = 0,30; 0,35; 0,40; 0,60$ показують, що холодопродуктивність (fig. 4) складає: $Q_{0(0,3)} = 430\text{--}450$ кВт ($\zeta = 0,30$); $Q_{0(0,35)} = 500\text{--}530$ кВт ($\zeta = 0,35$); $Q_{0(0,4)} = 580\text{--}610$ кВт ($\zeta = 0,40$) і $Q_{0(0,6)} = 870\text{--}910$ кВт ($\zeta = 0,60$). Теплове навантаження на генератор ЕХМ складає $Q_g = 1450\text{--}1520$ кВт при відповідному охолодженні газу в генераторі (перед скруббером) від температури $t_{r1} = 360\text{--}410$ °С до температури $t_{r2} = 180$ °С (прийнята із врахуванням небезпеки виникнення низькотемпературної сірчистоокислої корозії). Така ефективність ЕХМ дозволяє забезпечити зниження температури повітря перед турбокомпресором двигуна відповідно на: $\Delta t_{n(0,3)} = 5,1\text{--}8,0$ °С ($\zeta = 0,30$); $\Delta t_{n(0,35)} = 5,5\text{--}9,4$ °С ($\zeta = 0,35$); $\Delta t_{n(0,4)} = 6,6\text{--}10,8$ °С ($\zeta = 0,40$); $\Delta t_{n(0,6)} = 8,7\text{--}16,0$ °С ($\zeta = 0,60$).

Висновок. Використання теплоти рециркуляційних газів ежекторною холодильною машиною дозволяє знизити температуру повітря на вході головного двигуна на 5–15 °С, що забезпечує зменшення питомої витрати палива на 0,5–1,5 г/(кВт год).

Список літератури

1. A.K. Agrawal, S. K. Singh, S. Sinha and M. K. Shukla, "Effect of EGR on the exhaust gas temperature and exhaust opacity in compression ignition engines," Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences, vol. 29, no. 3, pp. 275-284, June 2004.
2. MAN B&W, MAN B&W Two-stroke Marine Engines. Emission Project Guide, 9th Edition ed., Copenhagen: MAN Diesel & Turbo, 2018, p. 111.
3. N. Bent, «8500 TEU Container Ship Green Ship of the Future Concept study,» Odense Steel Shipyard Ltd, 2009.
4. MAN Diesel Turbo, «CEAS Engine Calculations,» 2019. [Онлайновий]. Available: <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>.