

УДК 621.431

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОМІЖНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ СУДНОВИХ ДВЗ****Андрєєв А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки Херсонської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна  
artem\_andreev@ukr.net

**Анотація.** Скорочення теплових втрат суднових ДВЗ шляхом використання теплоти наддувного повітря та відхідних газів в ежекторних холодильних машинах для охолодження повітря на вході ДВЗ, визначення раціональних параметрів і схем холодильних машин, які забезпечують максимальний приріст енергетичних показників ДВЗ (потужності та ККД) є задачами, що вирішуються в роботі.

**Ключові слова:** ДВЗ, наддувне повітря, холодильна установка

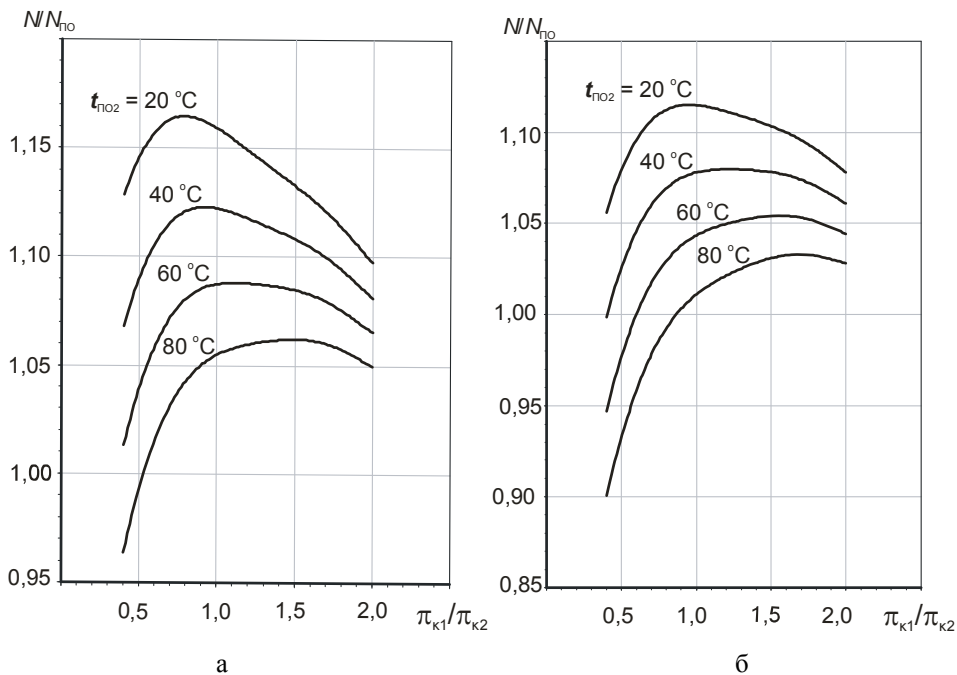
Компресори турбонадувних агрегатів сучасних суднових ДВЗ мають відносно високі степені підвищення тиску  $\pi_k \approx 2 \dots 4$ , що потребує витрат майже всієї потужності привідних утилізаційних турбін із використанням практично всього теплоперепадку відхідних газів. Одержати додаткову енергію можна, тільки скорочуючи роботу стискання в компресорі й розвантажуючи таким чином турбину. Резерв потужності (різниця потужностей турбіни та компресора), який при цьому утворюється, може бути переданий на вал ДВЗ або використаний для приводу електрогенератора.

Традиційним і апробованим способом скорочення роботи стискання в компресорі є проміжне охолодження повітря між ступенями стискання. Зазвичай охолодження наддувного повітря здійснюється забортною водою, охолоджуючий потенціал якої обмежений. До того ж споживачів відведеної з водою теплоти обмаль. Використання ж теплоти стисненого повітря в пароводяному утилізаційному котлі вельми проблематично, особливо на часткових навантаженнях ДВЗ при зменшенні температури повітря. Одним із перспективних шляхів скорочення роботи стискання в компресорі є охолодження наддувного повітря за допомогою тепловикористовуючих холодильних машин на НРТ, які використовують відведену теплоту для виробництва холоду. В свою чергу холод може бути задіяним для подальшого більш глибокого охолодження наддувного повітря або ж повітря на вході компресора ДВЗ. В останньому випадку збільшується масовий заряд циліндрів повітрям, що створює передумови для збільшення подачі палива з відповідним зростанням циліндрової потужності ДВЗ.

З метою визначення раціональних параметрів наддувного повітря при проміжному його охолодженні були виконані розрахунки залежності витрат потужності наддувного турбокомпресора від відношення  $\pi_{k1}/\pi_{k2}$  степенів стискання компресорних ступенів низького  $\pi_{k1}$  та високого  $\pi_{k2}$  тиску при різних температурах  $t_{п02}$  стисненого повітря після проміжного охолоджувача (ПО) та температурах  $t_{вх}$  зовнішнього повітря на вході. За базовий варіант прийнято одноступеневий турбокомпресор без проміжного охолодження із загальним ступенем стискання, рівним 4. Результати розрахунків у вигляді залежності відношення  $N/N_{по}$  потужностей базового компресора без промозолення  $N$  та двоступеневого компресора із промозоленням  $N_{по}$  від відношення  $\pi_{k1}/\pi_{k2}$  степенів стискання компресорних ступенів низького  $\pi_{k1}$  та високого  $\pi_{k2}$  тиску при температурах стисненого повітря після ПО  $t_{п02} = 20, 40, 60$  і  $80$  °C та повітря на вході  $t_{вх} = 40$  і  $20$  °C наведено на рис. 1.

Як видно з рис. 1, для суднових ДВЗ із проміжним охолодженням існує раціональна величина відношення степенів стискання  $\pi_{k1}/\pi_{k2}$ , яка забезпечує скорочення витрат потужності наддувного агрегату на 5...15 % і знаходиться в діапазоні 0,8...1,5, причому із зменшенням  $t_{п02}$  (збільшенням глибини охолодження) екстремуми зростають і зміщуються в бік менших

величин  $\pi_{к1}/\pi_{к2}$ . Найбільше скорочення потужності (понад 12...15 %) досягається при глибокому охолодженні стисненого повітря до  $t_{п02} = 20...40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що можливе лише при застосуванні машинного холоду. В такому разі компоновка ежекторної ХМ на НРТ повинна передбачати застосування її генератора пари НРТ високого тиску (силового контуру ЕХМ) для використання відносно високотемпературного теплового потенціалу наддувного повітря, а її випарника – для охолодження наддувного повітря до низької температури ( $t_{п02} = 20...40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), тобто генератор і випарник включають між компресорними ступенями. У разі недостатньої кількості холоду можливо паралельне підключення додаткового генератора пари, який поглинає теплоту відхідних газів ДВЗ, тобто паралельна робота двох генераторів ЕХМ на один випарник.

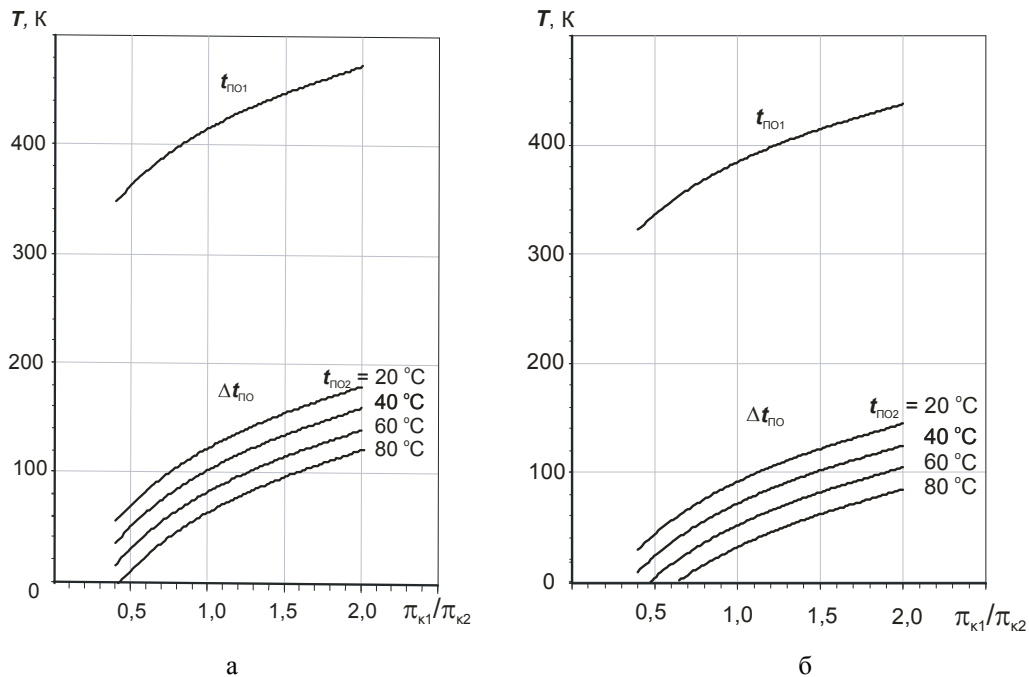


**Рис. 1** Залежності відношення потужностей компресорів  $N/N_{по}$  від відношення  $\pi_{к1}/\pi_{к2}$  степенів стиснення компресорних ступенів при різних температурах  $t_{п02}$  повітря після ПО та температурах повітря на вході  $t_{вх} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (а) і  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (б): потужності компресорів  $N$  – без проморохолодження і  $N_{по}$  – з проморохолодженням; степені стиснення компресорних ступенів  $\pi_{к1}$  – низького і  $\pi_{к2}$  – високого тиску

З рис. 1, б видно, що скорочення витрат потужності компресорного агрегату з переходом на проміжне охолодження вельми суттєве навіть при доволі низькій температурі повітря на вході, що свідчить про доцільність охолодження повітря на вході, тобто комбіноване охолодження циклового повітря – на вході та стисненого. Таким чином, раціональне компонування тепловикористовуючого контуру на базі ЕХМ (місце включення генератора пари та випарника ЕХМ в газоповітряний тракт ДВЗ) слід здійснювати, виходячи з оптимального відношення степенів стиснення  $\pi_{к1}/\pi_{к2}$ , яке забезпечує максимальне скорочення витрат потужності наддувного агрегату.

При проектуванні теплообмінників тепловикористовуючої ХМ (генератора пари НРТ високого тиску та випарника низького тиску) необхідно знати температурні перепади по стисненому повітрю  $\Delta t_{по} = t_{по1} - t_{по2}$ , які для розглянутих умов наведено на рис. 2 разом із температурою  $t_{по1}$  стисненого повітря на вході ПО (після компресора першого ступеню). Як видно, в залежності від глибини охолодження вони змінюються в діапазоні значень  $\Delta t_{по} = 50...100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Слід зазначити, що з метою застосування ЕХМ для глибокого охолодження наддувного повітря (або повітря на вході) відведення від нього теплоти проміжного температурного рівня  $40...60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (неефективного з точки зору генерування в ЕХМ пари НРТ,

оскільки при цьому матимуть місце занадто низькі коефіцієнти ежекції та відповідно теплові коефіцієнти, й недоцільного для витрат на ці цілі дефіцитного низькотемпературного холоду при температурі стоку – кипіння НРТ у випарнику  $0...10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), доцільне забортною водою. Подібні трисекційні, тільки пароводяні ПО (на відміну від запропонованих комбінованих трисекційних ПО з крайніми секціями на НРТ та середньою – на воді) застосовуються на судах вже давно. Але їх недоліком є низька ефективність або навіть неможливість роботи парогенеруючої водяної секції на часткових навантаженнях ДВЗ, що супроводжується зниженням температури відхідних газів і відповідно потужності привідного утилізаційного турбоагрегату. Запропонований же тепловикористовуючий контур на НРТ достатньо ефективний і на часткових режимах ДВЗ.



**Рис. 2.** Залежності відношення потужностей компресорів  $N/N_{\text{ПО}}$  від відношення  $\pi_{\text{к1}}/\pi_{\text{к2}}$  степенів стисання компресорних ступенів при температурах повітря на вході  $t_{\text{вх}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (а) і  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (б); потужності компресорів  $N$  – без промозоодження і  $N_{\text{ПО}}$  – з промозоодженням; степені стисання компресорних ступенів  $\pi_{\text{к1}}$  – низького і  $\pi_{\text{к2}}$  – високого тиску;  $t_{\text{ПО2}}$  – температура стисненого повітря після ПО

Відповідно до скорочення витрат потужності компресорного агрегату звільняється частка потужності утилізаційного привідного ГТД, яка може бути використана, наприклад, для виробництва електроенергії або передана на вал головного ДВЗ на ходовому режимі.

#### Висновок:

1. Застосування ежекторної холодильної машини, що використовує теплоту відхідних газів ДВЗ, дозволяє знизити температуру повітря на вході двигуна на  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує зменшення питомої ефективної витрати палива і збільшення ефективного ККД ДВЗ приблизно на  $2\%$ .

2. Встановлено, що для судових ДВЗ із проміжним охолодженням існує раціональна величина відношення  $\pi_{\text{к1}}/\pi_{\text{к2}}$  степенів стисання наддувних турбокомпресорів низького  $\pi_{\text{к1}}$  та високого  $\pi_{\text{к2}}$  тиску, яка знаходиться в діапазоні  $0,8...1,5$  і забезпечує скорочення витрат потужності наддувного агрегату на  $5...15\%$  із відповідним збільшенням частки потужності утилізаційного ГТД, що його приводить. Ця додаткова потужність УГТД може бути використана, наприклад, для виробництва електроенергії або передана на вал головного ДВЗ на ходовому режимі. Раціональне компонування тепловикористовуючого контуру на базі ЕХМ (місце включення генератора пари та випарника ЕХМ в газоповітряний тракт ДВЗ) слід здійснювати, виходячи з цієї величини.

## ЛІТЕРАТУРА

[1] Радченко Н.И., Сирота А.А., Андреев А.А., Чураков А.И. Повышение эффективности судовых высокооборотных ДВС при высоких температурах окружающего воздуха с помощью эжекторных тепло-использующих контуров // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2006. – № 4 (409). – С. 132–138.

[2] Андреев А.А. Влияние температуры наддувочного воздуха на рабочий цикл ДВС // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених та спеціалістів. – Миколаїв: НУК, 2005. – С.89.

[3] Андреев А.А. Аналитический обзор способов охлаждения наддувочного воздуха судовых ДВС // Сучасні проблеми двигунобудування: стан, ідеї, рішення: Матеріали науково-технічної конференції науково-педагогічних та інженерно-технічних працівників. – Первомайськ: ППІ НУК, 2005. – С.36-37.

### Investigation of the influence of fuel equipment setting parameters using small hydrogen impurities on the working process and efficient 28

*Andrieiev Artem Andriyovich<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine*

**Abstract.** Reducing heat losses of marine internal combustion engines by using the heat of charge air and exhaust gases in ejector refrigeration machines to cool the air at the inlet of the internal combustion engine, determining rational parameters and schemes of refrigeration machines that provide maximum increase in energy performance of internal combustion engines (power and efficiency) are the tasks to be solved.

**Key words:** internal combustion engine, supercharged air, refrigeration unit

УДК 621.577 + 697.1

### АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ВСЕРЕДИНИ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ВИТЯЖНОГО ПОВІТРЯ

**Безродний М.К.<sup>1</sup>, Місюра Т.О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*доктор технічних наук, професор кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна;  
m.bezrodnyuk@kpi.ua*

<sup>2</sup>*аспірант кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна;  
Sconosciuto.T@gmail.com*

**Анотація.** У роботі аналізується енергетична ефективність підтримання технологічних умов всередині виробничих приміщень протягом теплого періоду року з використанням теплонасосної системи вентиляції та кондиціонування з рекуперацією холоду витяжного повітря. Дослідження проводились для обраного цеху в залежності від параметрів зовнішнього повітря, ефективності рекуперації і характеристик приміщення. Було розроблено теоретичну модель теплонасосної системи і проведено чисельні розрахунки для визначення її холодильної ефективності та умов роботи. Визначено, що систему можна застосовувати в країнах з помірним континентальним кліматом, який характеризується низькими відносними вологостями повітря.

**Ключові слова:** тепловий насос повітря-повітря, холодильний коефіцієнт, рекуператор, вентиляція, кондиціонування, відновлювані джерела енергії.