

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

КОНОВАЛОВ АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.433

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ГАЗОПОРШНЕВОЇ
УСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ОХОЛОДЖЕННЯМ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ
АБСОРБЦІЙНИМ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОМ**

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Радченко Микола Іванович,
завідувач кафедри кондиціонування
та рефрижерації Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова
МОН України.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор
Голіков Володимир Антонович,
Національний університет "Одеська морська
академія" Міністерства освіти і науки України,
проректор з наукової роботи;

кандидат технічних наук, доцент
Щербак Юрій Георгійович,
Чорноморський національний університет імені
Петра Могили Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри якості, стандартизації і техногенно-
екологічної безпеки.

Захист відбудеться 29.06.2017 р. о 11 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради ДЗ8.060.01 Національного університету кораблебудування імені
адмірала Макарова за адресою:
ауд. 360, просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою:
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025.

Автореферат розісланий 29.05.2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д-р техн. наук, професор

А.П. Шевцов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У промисловій і малій енергетиці все більшого поширення набувають газопоршневі установки (ГПУ) автономного енергозабезпечення – спільного виробництва трьох видів енергії: електричної енергії, теплоти та холоду, що відображає загальносвітову тенденцію децентралізації енергопостачання. В якості базових е двигунів таких установок широко застосовуються газопоршневі двигуни (ГПД) з подачею газу на всмоктування в турбокомпресор (ТК). Паливна економічність ГПУ залежить від температури зовнішнього повітря і води, що охолоджує наддувне повітря – газоповітряну суміш (ГПС) після турбокомпресорів (ТК) на вході в циліндри ГПД, і знижується з її підвищенням. У газопоршневих установках (ГПУ) автономного енергозабезпечення охолодження наддувного повітря ГПД здійснюється в радіаторах – градирнях сухого типу без контакту охолоджуючої води з зовнішнім повітрям. У кліматичних умовах півдня України підвищені температури зовнішнього повітря 30...35 °С на вході радіатора, відповідно і води, що охолоджує наддувне повітря у впускному ресивері, призводять до збільшення питомої витрати палива. Тому більш глибоке зниження температури охолоджуючої наддувної повітря води порівняно з радіаторним охолодженням є доцільним. Для оцінки ефекту від більш глибокого охолодження наддувного повітря ГПД у складі ГПУ в порівнянні з його охолодженням в радіаторі системи охолодження ГПД у складі типової ГПУ необхідні дані із залежності потужності та витрати палива від температури зовнішнього повітря на вході в радіатор або ж від температури води, що охолоджує наддувне повітря. На жаль, фірми-виробники не приводять у доступних інформаційних джерелах таких даних, а в результаті моніторингу отримують дані лише зі спільного впливу температури зовнішнього повітря на вході в радіатор і повітря на всмоктуванні ТК. Тому необхідно вирішувати також завдання обробки результатів моніторингу з метою отримання залежності потужності і витрати палива ГПД у складі ГПУ від температури зовнішнього повітря на вході в радіатор і, відповідно, від температури наддувного повітря.

Ефективність охолодження повітря в енергетичних установках і двигунах досліджувалася провідними академічними інститутами, вузами і організаціями: ІТТФ НАНУ, НТУ "КПІ" (Київ), НТУ "ХПІ", НАУ "ХАІ" (Харків), ОНАХТ, НУ "ОМА" , ОНМУ (Одеса), а також фірмами-розробниками ГПД "GE-energy Jenbacher", "GE-energy Waukesha", "Caterpillar", "MAN", "Wartsila", "Sulzer", "Mitsubishi". Однак залишаються невирішеними питання поліпшення паливної економічності ГПУ автономного енергозабезпечення при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря.

Ефективність охолодження повітря в енергетичних установках (ЕУ) і двигунах досліджувалася провідними академічними інститутами, вузами і організаціями: ІТТФ НАНУ, НТУ "КПІ" (Київ), НТУ "ХПІ", НАУ "ХАІ" (Харків), ОНАХТ, НУ "ОМА" , ОНМУ (Одеса), а також фірмами-розробниками

ГПД "GE-energy Jenbacher", "GE-energy Waukesha", "Caterpillar", "MAN", "Wartsila", "Sulzer", "Mitsubishi". Однак залишаються невирішеними питання поліпшення паливної економічності ГПУ автономного енергозабезпечення при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря.

Науково-прикладною задачею, яка вирішується в дисертаційній роботі, є вдосконалення систем охолодження наддувного повітря газопоршневих установок автономного енергозабезпечення шляхом більш глибокого зниження його температури порівняно з традиційним відведенням теплоти радіатором.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наведені в дисертації матеріали узагальнюють результати робіт, виконаних автором у рамках Представлені в дисертації матеріали узагальнюють результати робіт, виконаних автором в рамках планів НДР Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова та держбюджетних НДР № 0115U000300 "Науково-технічні основи тригенераційних полінарних технологій на низькокиплячих робочих тілах для двигунів и енергетичних установок", № 0116U008669 "Розробка концепції комбінованого виробництва енергії в судновій та стаціонарній енергетиці на основі внутрішньоциклової низькотемпературної тригенерації", в яких автор брав участь як виконавець на посаді молодшого наукового співробітника.

Метою наукового дослідження є поліпшення паливної ефективності газопоршневих установок автономного енергозабезпечення при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря шляхом більш глибокого, порівняно з радіаторним, охолодження наддувного повітря абсорбційним термотрансформатором.

Основні задачі наукового дослідження:

- виявити резерви підвищення паливної ефективності газопоршневих установок автономного енергозабезпечення при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря шляхом охолодження наддувного повітря абсорбційним термотрансформатором;
- розробити підхід до обробки масивів даних результатів моніторингу паливної ефективності ГПУ з отриманням залежності витрати палива та електричної потужності від температури зовнішнього повітря на вході радіатора системи оборотного охолодження і, відповідно, температури наддувного повітря;
- визначити параметри процесів і розробити способи охолодження наддувного повітря ГПУ абсорбційним термотрансформатором, адаптовані до експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря;
- розробити схемні рішення вдосконалених систем оборотного охолодження наддувного повітря ГПУ абсорбційним термотрансформатором для експлуатації при підвищених навколишніх температурах.

Об'єктом дослідження є процеси охолодження наддувного повітря газопоршневої установки автономного енергозабезпечення.

Предмет дослідження – параметри процесів охолодження наддувного повітря газопоршневої установки абсорбційним термотрансформатором.

Методика і методи дослідження. Використано відомі й апробовані методи математичного і фізичного дослідження. При натурних випробуваннях застосовані сучасні вимірювальні комплекси з комп'ютерною обробкою сигналів. При обробці результатів натурних випробувань ГПУ використовувалися статистичні методи оцінки похибки вимірювань, а при описі отриманих масивів даних з паливної економічності ГПУ – метод регресійного аналізу. Математичне моделювання процесів охолодження наддувного повітря ГПУ здійснювалось із застосування програмного комплексу "Blitz-PRO", розробленого на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння НУК імені адмірала Макарова. Математичне моделювання процесів теплопередачі в пластинчастих теплообмінниках проміжних контурів охолодження проводилося з використанням добре апробованих програм фірм-розробників апаратів, зокрема "Guntner".

Наукові результати, які автор захищає, та їхня новизна:

Вперше:

1. Визначено резерви підвищення ефективності при експлуатації в умовах підвищених температур навколишнього середовища газопоршневої установки автономного енергозабезпечення споживачів електроенергії, тепла та холоду шляхом більш глибокого охолодження наддувного повітря абсорбційним термотрансформатором.

2. Розроблені способи охолодження наддувного повітря ГПД установки автономного енергозабезпечення при підвищених температурах навколишнього середовища і схемні рішення відповідних дво- та триконтурних систем з абсорбційним термотрансформатором, що реалізують ці способи та знижують вартість автономного виробництва електричної енергії на 5...7 %.

3. За результатами моніторингу газопоршневої установки автономного енергозабезпечення отримано залежності потужності та витрати палива ГПД 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) у складі ГПУ від температури зовнішнього повітря на вході радіатора системи оборотного охолодження і, відповідно, температури наддувного повітря, розроблений алгоритм обробки масивів даних з паливної ефективності, виходячи з яких оцінюють ефект від реалізації запропонованих технічних рішень при експлуатації ГПУ на номінальній потужності та часткових навантаженнях.

4. Визначено умови раціонального використання запропонованих дво- та триконтурних систем охолодження наддувного повітря ГПД установки автономного енергозабезпечення. Встановлено, що при експлуатації ГПД 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) у складі ГПУ на режимах навантаження, близьких до номінального ($n = 1500$ об/хв, $N_{e.n} = 1400$ кВт), і температурі зовнішнього повітря на вході радіатора 30...35 °С (при температурі повітря на вході турбокомпресора ГПД 25...30 °С) триконтурна система охолодження

наддувного повітря абсорбційним термотрансформатором дозволяє скоротити питому витрату палива на 2...5 % у порівнянні з його традиційним охолодженням в радіаторі, тоді як на режимах часткових навантажень (1500 об/хв, 1000...1100 кВт) – на 2...8 %, причому при більш високій температурі зовнішнього повітря 30...35 °С ефект від охолодження на режимах часткових навантажень більше.

Отримав подальший розвиток:

Підхід та способи охолодження наддувного повітря газопоршневих установок автономного енергозабезпечення при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря, які полягають у використанні типового для таких установок обладнання: абсорбційного термотрансформатора з градирнею мокрого типу – для більш глибокого, порівняно з радіатором, зниження температури наддувного повітря у дво- та триконтурних системах охолодження.

Достовірність результатів досліджень забезпечується коректною постановкою завдань теоретичного та експериментального досліджень, задовільним узгодженням даних з паливної ефективності ГПУ, отриманих у ході натурних випробувань ГПУ, та розрахованих з використанням програмного комплексу "Blitz-PRO", розробленого на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння НУК імені адмірала Макарова, застосуванням сучасних методів експериментального дослідження, позитивними результатами порівняння показників паливної ефективності ГПУ з охолодженням наддувного повітря в розроблених системах оборотного охолодження і в традиційних з радіаторним охолодженням.

Практичну цінність становлять: алгоритм і методика обробки масивів даних результатів моніторингу паливної ефективності ГПУ типу 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L); алгоритм розрахунку і параметри процесів оборотного охолодження наддувного повітря ГПУ у дво- та триконтурних системах; схемні рішення дво- та триконтурних систем оборотного охолодження наддувного повітря ГПУ та рекомендації щодо умов їх ефективної експлуатації при підвищених температурах зовнішнього повітря.

Впровадження результатів роботи. Результати дослідження у вигляді схемних рішень систем оборотного охолодження наддувного повітря ГПУ з абсорбційним термотрансформатором, методики розрахунку раціональних параметрів і рекомендації з проектування систем використані в ТОВ "Хладотехніка" при розробці проекту холодопостачання установки автономного енергозабезпечення ТОВ "Сандора", а також у ПАТ "Завод" Екватор" при проектуванні та виготовленні систем охолодження і теплообмінного обладнання, а також у навчальному процесі НУК імені адмірала Макарова.

Апробація роботи. Основні її результати отримали позитивну оцінку на міжнародних конференціях: XIV-XIX Міжнародних конгресах двигунобудівників (Харків-Рибальське-Коблево, 2010-2016); VI м.-н. н.-т. конф. "Суднового енергетика: Стан та проблеми" (Миколаїв, 2011); "Холод в енергетиці і на

транспорті: сучасні проблеми кондиціювання та рефрижерації" (Миколаїв: НУК, 2013, 2015); "Інновації в суднобудуванні та океанотехніці" (Миколаїв: НУК, 2012-2016); VII, VIII конференціях "Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні" (Миколаїв: НУК, 2014, 2016).

Публікації. За темою дисертації опубліковані 43 друковані наукові роботи, в тому числі 14 статей у наукових фахових виданнях (наукометричних 9, без співавторів 1), 29 доповідей і тез доповідей (без співавторів 7).

Особистий внесок здобувача підтверджено самостійними публікаціями, в яких наведені основні наукові та прикладні результати роботи. У спільних публікаціях автору належать наступні результати: методика розрахунку та значення раціональних параметрів процесів охолодження наддувного повітря ГПУ, які враховують змінні у процесі експлуатації параметри зовнішнього повітря; методика обробки масивів даних моніторингу паливної ефективності ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) по залежності витрати палива та потужності від температури зовнішнього повітря на вході радіатора системи оборотного охолодження; схемотехнічні рішення та рекомендації з проектування дво- і триконтурних систем оборотного охолодження наддувного повітря ГПУ для експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів і висновків. У додатках наведено деякі дані моніторингу параметрів ГПД і результати їх обробки, документи, що підтверджують впровадження основних результатів дослідження.

Обсяг дисертації становить 197 сторінок, включаючи 145 сторінок основного тексту, 72 рисунки і 10 таблиць. Бібліографія містить 140 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано об'єкт і предмет дослідження, мету і головні завдання дисертаційної роботи, визначено наукову новизну, теоретичне та практичне значення отриманих результатів, відображено повноту їхнього викладення в публікаціях та ступінь їхньої апробації на конференціях.

У першому розділі подано огляд теоретичних та експериментальних праць, присвячених газопоршневим установкам (ГПУ) автономного енергозабезпечення (УАЕ). Показано, що особливого поширення набули установки на базі газопоршневих двигунів (ГПД) – з одночасним сумісним виробництвом електричної енергії, теплоти та холоду. Проаналізовано існуючі способи охолодження наддувного повітря ГПУ і визначені резерви вдосконалення систем оборотного охолодження наддувного повітря ГПУ при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря, які полягають у більш глибокому його охолодженні порівняно з радіаторним. За результатами аналізу сформульовано мету і задачі наукового дослідження.

У другому розділі проаналізовано ефективність типових ГПУ установок автономного енергозабезпечення (УАЕ) традиційною системою охолодження наддувного повітря у радіаторах – градирнях сухого типу. За результатами аналізу даних моніторингу ГПУ та виходячи з особливостей УАЕ з отриманням холоду в абсорбційних бромистолітієвих термотрансформаторах (АБТТ) з системами оборотного охолодження конденсаторів і абсорберів у градирнях мокрого типу, визначено шляхи підвищення ефективності охолодження наддувного повітря застосуванням АБТТ та градирень мокрого типу. Викладено загальну методику проведення дослідження.

У третьому розділі наведено аналіз паливної економічності ГПУ установки автономного енергозабезпечення при зміні кліматичних умов експлуатації. Принципова схема типової системи охолодження наддувного повітря ГПД в радіаторі та трансформації скидної теплоти в АБХМ з градирнею мокрого типу наведена на рис. 1.

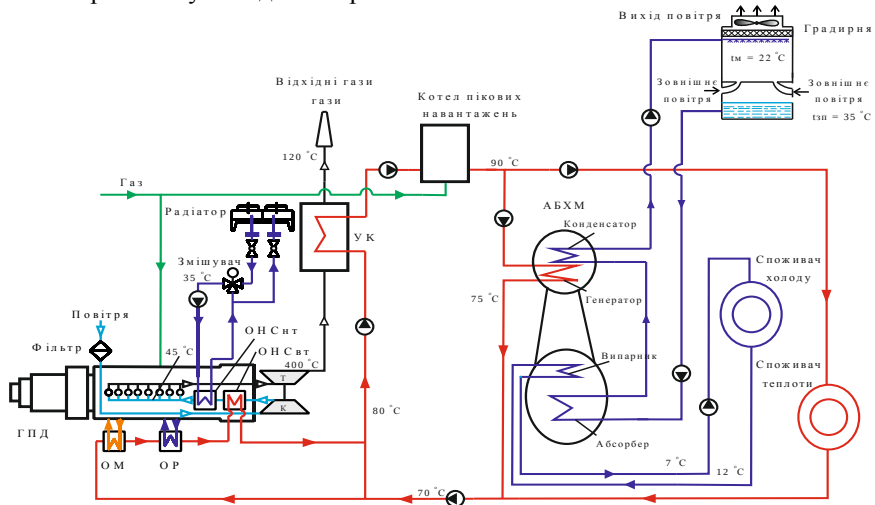


Рис. 1. Схема типової системи охолодження наддувного повітря в радіаторі та трансформації теплоти ГПУ в АБХМ: Т і К – турбіна і компресор; ОНС_{ВТ} і ОНС_{НТ} – високо- і низькотемпературний охолоджувачі наддувного повітря; ОМ і ОР – охолоджувачі масла і рубашки двигуна; ПТО – пластинчастий теплообмінник; УК – утилізаційний котел

Результати моніторингу паливної економічності ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) представлялись у вигляді масивів даних з залежності потужності двигуна $N_e = f(t_{зп})$ та витрати палива (природного газу) $B_e = f(t_{зп})$ від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ на вході радіатора системи оборотного охолодження наддувного повітря-газоповітряної суміші (ГПС) при різних температурах повітря на вході ТК $t_{вх}$. Метою обробки масивів даних $N_e = f(t_{зп})$ і $B_e = f(t_{зп})$ є знаходження величини зміни потужності ГПУ dN_e і витрати палива dB_e , які припадають на зміну температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ на

вході в радіатор на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто $dN_e/dt_{3п}$ і $dB_e/dt_{3п}$.

При цьому окремі масиви даних моніторингу $N_e = f(t_{3п})$ і $B_e = f(t_{3п})$ формувались при різних, але практично незмінних температурах повітря на вході ТК $t_{вх}$ (діапазон відхилення температури $t_{вх}$ менше $1\text{ }^{\circ}\text{C}$), що дозволяло досліджувати вплив температури повітря $t_{3п}$ на вході в радіатор охолодження наддувного повітря незалежно від температури повітря $t_{вх}$ на вході ТК.

Масиви даних $N_e = f(t_{3п})$ і $B_e = f(t_{3п})$ представлялись у вигляді точкових діаграм. Алгоритм поетапної реалізації методики отримання залежностей $N_e = f(t_{3п})$ і $B_e = f(t_{3п})$ і основні її положення наведені нижче.

1) Граничні умови для всієї множини M точок $y=f(x)$:

$$M=\{x, y \mid y \in [y_{\min}; y_{\max}], x \in [x_{\min}; x_{\max}]\}$$

2) Розбивають M на підмножини:

$$M_1 = \{x, y \mid 20 \leq t_{вх} \leq 21\}, M_2 = \{x, y \mid 21 \leq t_{вх} \leq 22\}, M_n = \{x, y \mid 29 \leq t_{вх} \leq 36\}, \text{ де } M_1, M_2, \dots M_n \subset M.$$

3) Для кожного M_i при апроксимації значень цільової функції використовувалося рівняння регресії, що представляє собою поліном n -ї степені:

$$f(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_n \cdot x^n, \quad (1)$$

де a_i – коефіцієнти рівняння регресії.

4) Степінь n рівняння регресії визначається умовою найменшого відхилення:

$$\sigma = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2. \quad (2)$$

Приріст потужності на 1 градус зниження температури зовнішнього повітря знаходять з рішення (1) для $dN_e/dt_{3п}$:

$$(1/N_{e.н.}) \cdot dN_e/dt_{3п} \cdot 100 = (1/N_{e.н.}) \cdot (a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot t_{3п} + \dots + n \cdot a_n \cdot t_{3п}^{n-1}). \quad (3)$$

5) Зменшення витрати палива на 1 градус зниження температури зовнішнього повітря знаходять з рішення (1) для $dB_e/dt_{3п}$:

$$dB_e/dt_{3п} = a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot t_{3п} + \dots + n \cdot a_n \cdot t_{3п}^{n-1}. \quad (4)$$

На рис. 2 і 3 наведено результати обробки даних для масивів значень витрати палива ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{3п}$ на вході в радіатор охолодження наддувної ГПС $B_e = f(t_{3п})$ і температури $t_{гпс}$ наддувної ГПС $N_e = f(t_{гпс})$ у вигляді точкових діаграм. При цьому зв'язок між температурою наддувної ГПС $t_{гпс}$ і температурою зовнішнього повітря $t_{3п}$ на вході в градирню охолодження наддувної ГПС $t_{3п}$ визначався, виходячи з різниці температур між температурою охолодженої в градирні води t_{w1} і зовнішнім повітрям $t_{3п}$ на вході в радіатор: $\Delta t_1 = t_{w1} - t_{3п} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а також різниці температур між наддувною ГПС на виході з низькотемпературного ступеня ОНП_{НТ} $t_{гпс}$ і охолодженої в градирні води t_{w1} : $\Delta t_2 = t_{гпс} - t_{w1} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто $t_{гпс} = t_{3п} + \Delta t_1 + \Delta t_2 = t_{3п} + 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а різниці температур в радіаторі Δt_1 і в низькотемпературному ступені ОНП_{НТ} Δt_2 отримували з розрахунку за програмами фірм-розробників, зокрема, Guntner.

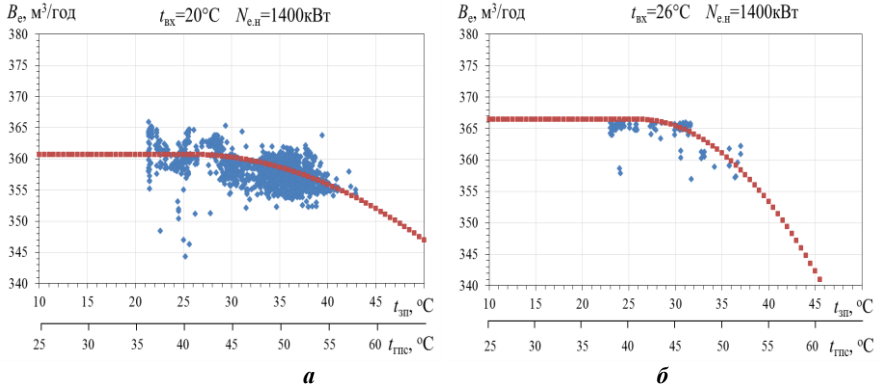


Рис. 2. Залежність об'ємної витрати палива ГПУ B_e від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ на вході в радіатор охолодження наддувної ГПС $B_e = f(t_{зп})$ для температури повітря $t_{вх}$ на вході в ТК: **а** – $t_{вх} = 20^\circ\text{C}$; **б** – $t_{вх} = 26^\circ\text{C}$

На рис. 3 наведено результати обробки даних для масивів значень електричної потужності ГПУ N_e від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ на вході в радіатор системи оборотного охолодження $N_e = f(t_{зп})$ і температури $t_{гпс}$ наддувної ГПС $N_e = f(t_{гпс})$ у вигляді точкових діаграм.

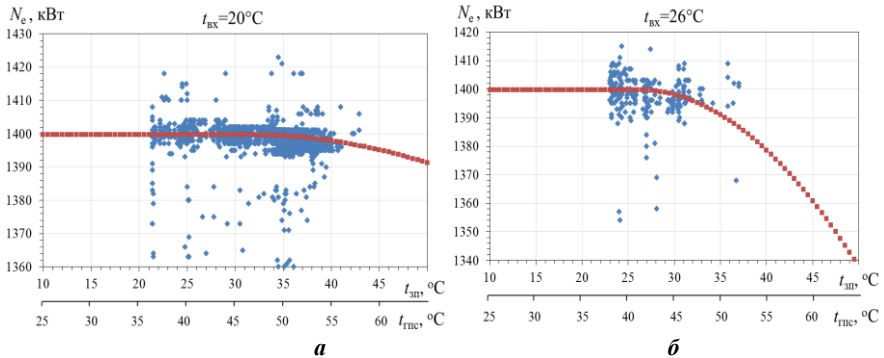


Рис. 3. Залежність електричної потужності ГПУ N_e від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ на вході в радіатор системи оборотного охолодження $N_e = f(t_{зп})$ і температури $t_{гпс}$ наддувної ГПС $N_e = f(t_{гпс})$ для температури повітря $t_{вх}$ на вході ТК: **а** – $t_{вх} = 20^\circ\text{C}$; **б** – $t_{вх} = 26^\circ\text{C}$

Результати подальшої обробки даних з потужності N_e і витрати палива B_e з отриманням величини їх зміни dN_e і dB_e при зміні температури зовнішнього повітря на вході в радіатор охолодження наддувної ГПС $t_{зп}$ на 1°C в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{зп}$, тобто $dN_e/dt_{зп} = f(t_{зп})$ і $dB_e/dt_{зп} = f(t_{зп})$, при номінальній потужності ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) $N_e = 1400$ кВт наведені на рис. 4.

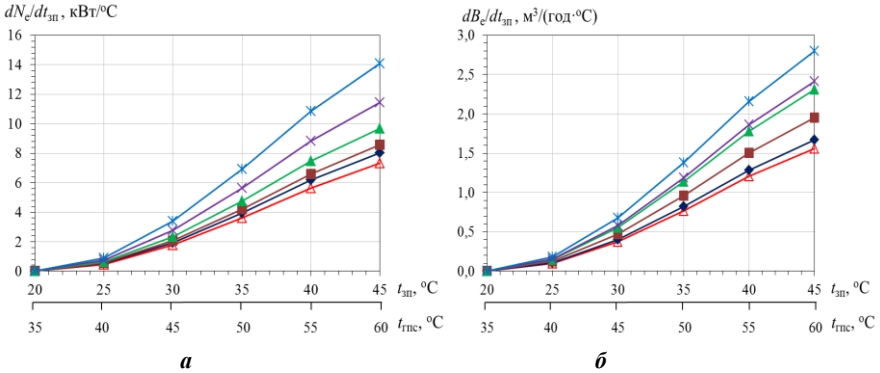


Рис. 4. Залежності зміни електричної потужності ГПУ dN_e/dt_{3n} (а) і витрати палива dB_e/dt_{3n} (б), що припадають на зміну температури зовнішнього повітря на вході радіатора $\Delta t_{3n} = 1$ °C, від t_{3n} при номінальній потужності $N_e = 1400$ кВт для $t_{вх}$:

△ - 20 °C, ◆ - 22 °C, ■ - 24 °C, ▲ - 26 °C, ✱ - 28 °C, ✱ - 30 °C

Про погіршення паливної економічності ГПУ через підвищення температури зовнішнього повітря на вході в радіатор охолодження наддувної ГПС t_{3n} можна судити по залежностях витрати палива у відносних величинах – в порівнянні з її номінальним значенням, $B_e/B_{e,n}$, від температури t_{3n} при різних температурах повітря на вході ТК $t_{вх} = 20 \dots 30$ °C і експлуатації ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) на номінальній потужності $N_e = 1400$ кВт і частковому навантаженні $N_e = 1000$ кВт, наведених на рис. 5.

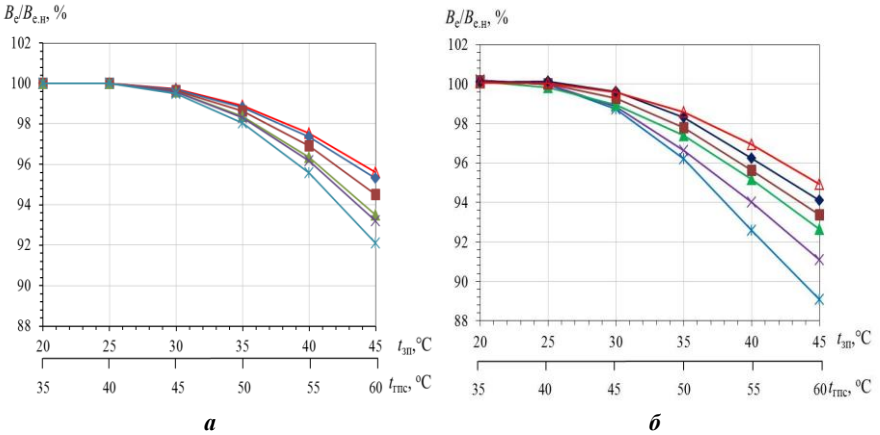


Рис. 5. Залежності зміни об'ємної витрати палива ГПУ $B_e/B_{e,n}$, що припадає на зміну температури зовнішнього повітря на вході радіатора $\Delta t_{3n} = 1$ °C, від t_{3n} при різних $t_{вх}$: - 20 °C, ◆ - 22 °C, ■ - 24 °C, ▲ - 26 °C, ✱ - 28 °C, ✱ - 30 °C; а - $N_e = 1400$ кВт; б - $N_e = 1000$ кВт

Як видно, при температурі повітря на вході ТК, наприклад $t_{\text{вх}} = 26^\circ\text{C}$, більш глибоке охолодження наддувної газоповітряної суміші, зокрема за допомогою АБХМ, в порівнянні з її традиційним охолодженням в системі оборотного охолодження радіатором (градирнею сухого типу), наприклад при температурі зовнішнього повітря на вході радіатора $t_{\text{зп}} = 30...35^\circ\text{C}$, дозволяє скоротити споживання палива на номінальному режимі на 1...2 %, тоді як на режимі часткового навантаження – на 1...4 %, причому при більш високій температурі повітря на вході ТК $t_{\text{вх}} = 35^\circ\text{C}$ (порівняно з $t_{\text{вх}} = 30^\circ\text{C}$) ефект від охолодження на режимі часткового навантаження значно більше.

Для дослідження процесів охолодження наддувного повітря була вибрана математична модель, реалізована у вигляді програмного комплексу "Blitz-PRO", розробленого на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

На рис. 6 наведено порівняння експериментальних даних, отриманих автором за розробленою ним методикою обробки результатів моніторингу, з розрахованими в програмному комплексі "Blitz-PRO" у відносних величинах в залежності від температури охолоджуючої води на вході охолоджувача наддувного повітря (ГПС) ОНС_{НТ} t_{w1} при експлуатації на номінальній потужності ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) $N_e = 1400$ кВт.

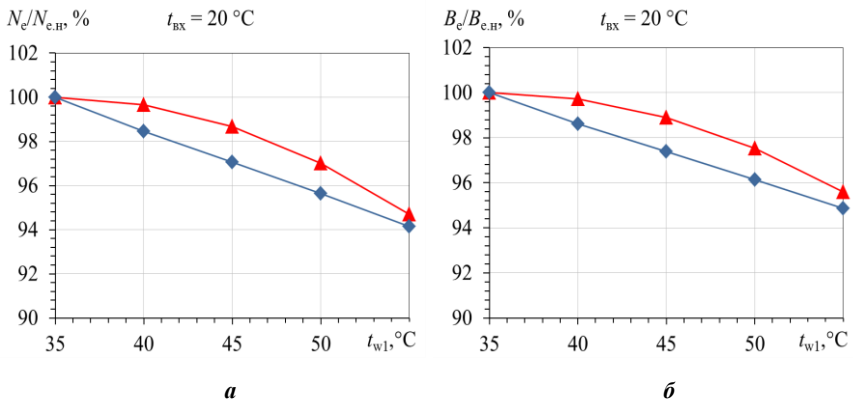


Рис. 6. Порівняння розрахункових і експериментальних даних $N_e/N_{e,n}$ (а) і $B_e/B_{e,n}$ (б) від температури охолоджуючої води t_{w1} при номінальній потужності ГПУ $N_e = 1400$ кВт і $t_{\text{вх}} = 20^\circ\text{C}$: $\blacktriangle$ - моніторинг; $\blacklozenge$ - "Blitz-PRO"

Як видно, відхилення експериментальних даних від розрахункових значень, отриманих в програмному середовищі "Blitz-PRO", при експлуатації ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) на номінальній потужності $N_e = 1400$ кВт становить: $\delta(N_e/N_{e,n}) = 0,5...2,8\%$, $\delta(B_e/B_{e,n}) = 0,8...3,6\%$, а при експлуатації на частковому навантаженні $N_e = 1000$ кВт відповідно: $\delta(N_e/N_{e,n}) = 0,6...4,6\%$, $\delta(B_e/B_{e,n}) = 0,3...4,8\%$, що можна вважати задовільним.

Розробці вдосконалених систем оборотного охолодження ГПУ присвячено **розділ 4**. Підвищення температури зовнішнього повітря на вході радіатора викличе підвищення температури наддувної газоповітряної суміші на вході в циліндри ГПУ понад припустиму ($45 \dots 50^\circ\text{C}$), що свою чергу спричинить перехід ГПУ на часткові режими з падінням електричної потужності і зростанням витрат палива. То ж були розроблені і досліджені системи охолодження ГПУ з температурою $t_{\text{нс}}$ у впускному ресивері ГПУ на рівні не вище 40°C . Принципова схема розробленої вдосконаленої системи охолодження наддувного повітря ГПУ наведена на рис. 7.

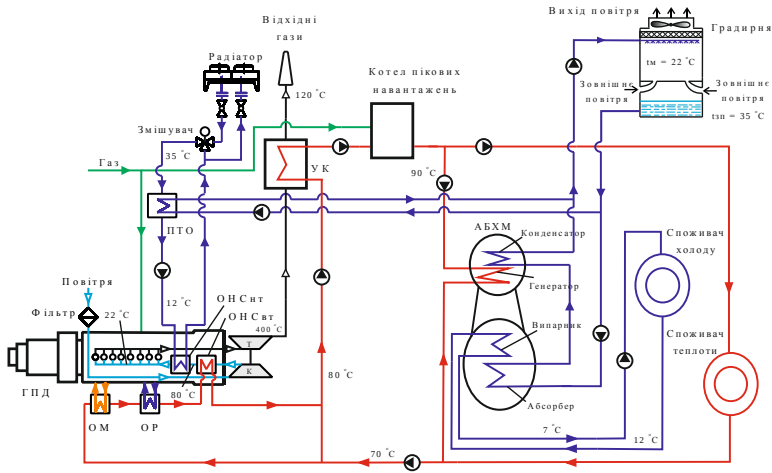


Рис. 7. Схема ГПУ з двоконтурною системою оборотного охолодження наддувного повітря в градирні мокрого типу і системою трансформації скидної теплоти в АБХМ: Т і К – турбіна і компресор; ОНС_{ВТ} і ОНС_{НТ} – високо- і низькотемпературний охолоджувачі наддувного повітря; ОМ і ОР – охолоджувачі масла і рубашки двигуна; ПТО – пластинчастий теплообмінник; УК – утилізаційний котел

Схема запропонованої триконтурної системи оборотного охолодження наддувного повітря в АБХМ і градирні мокрого типу наведена на рис. 8.

Поточні значення температури зовнішнього повітря $t_{\text{зп}}$ і мокрого термометра $t_{\text{м}}$, температури охолодженого в ОНС_{НТ} наддувного повітря $t_{\text{нс.мг}}$, води на вході $t_{\text{вх.мг}}$ і виході $t_{\text{вих.мг}}$ градирні мокрого типу, води на вході ОНС_{НТ} $t_{\text{вх.ОНС}}$ (на виході з ПТО для градирні мокрого типу), зниження температури наддувного повітря в ОНС_{НТ} для системи охолодження з градирнею комбінованого типу (із зволоженням повітря на вході радіатора-градирні сухого типу) в порівнянні зі значенням температури наддувного повітря, охолодженого в ОНС_{НТ} з традиційною градирнею сухого типу (радіатором), упродовж $9^{00} - 24^{00}$ (28.07.2014) наведені на рис. 9.

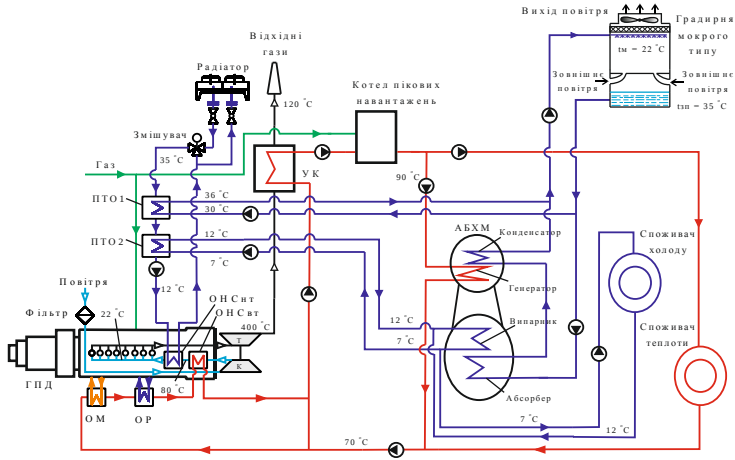


Рис. 8. Схема ГПУ з триконтурною системою охолодження наддувного повітря: Т і К – турбіна і компресор; ОНС_{ВТ} і ОНС_{НТ} – високо- і низькотемпературний охолоджувачі наддувного повітря; ОМ і ОР – охолоджувачі масла і рубашки двигуна; ПТО1 і ПТО2 – пластинчасті теплообмінники; УК – утилізаційний котел

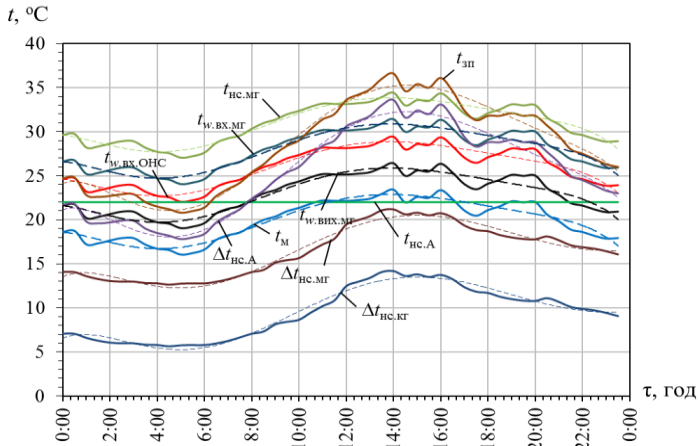


Рис. 9. Поточні значення температури зовнішнього повітря $t_{зп}$ і мокрого термометра t_m , охолодження в ОНС_{НТ} наддувної суміші $t_{нс.мг}$, води на вході $t_{w.вх.мг}$ і виході $t_{w.вх.ОНС}$ градирні мокрого типу, води на вході ОНС_{НТ} $t_{w.вх.ОНС}$ (виходи з ПТО1 для градирні мокрого типу), зниження температури наддувної суміші в ОНС_{НТ} для системи охолодження з градирнею комбінованого типу в порівнянні зі значенням температури наддувної суміші, охолодженої в ОНС_{НТ} з градирнею сухого типу: $\Delta t_{нс.кг} = t_{нс.с} - t_{нс.м(кг)}$, відповідні зниження температури наддувної суміші в ОНС_{НТ} з градирнею мокрого типу: $\Delta t_{нс.мг} = t_{нс.с} - t_{нс.мг}$ та зниження температури наддувної суміші в ОНС_{НТ} системи охолодження з градирнею мокрого типу і АБХМ $\Delta t_{нс.А} = t_{нс.с} - t_{нс.А}$ (тут $t_{нс.А} = 22^\circ\text{C}$) протягом доби (на прикладі 19.07.2014)

Температура наддувної суміші, охолодженої в ОНС_{нт} з АБХМ, $t_{нс.А} = t_{w \text{ ПТО2.вих}} + 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = t_{w \text{ вх.ОНС.А}} + 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (на рис. 9 горизонтальна пряма).

Узагальнюючі графіки температури охолодженого в ОНС_{нт} наддувного повітря (суміші) для розглянутих систем охолодження: традиційної системи з градирнею сухого типу (радіатором) $t_{нс.с}$, мокрого типу $t_{нс.мг}$ та комбінованого типу (зі зволоженням повітря на вході радіатора), а також відповідне зменшення питомої витрати палива Δb_e порівняно з традиційною системою з градирнею сухого типу: $\Delta b_{e \text{ нс.кг}}$, $\Delta b_{e \text{ нс.мг}}$ і $\Delta b_{e \text{ нс.А}}$ наведено на рис. 10.

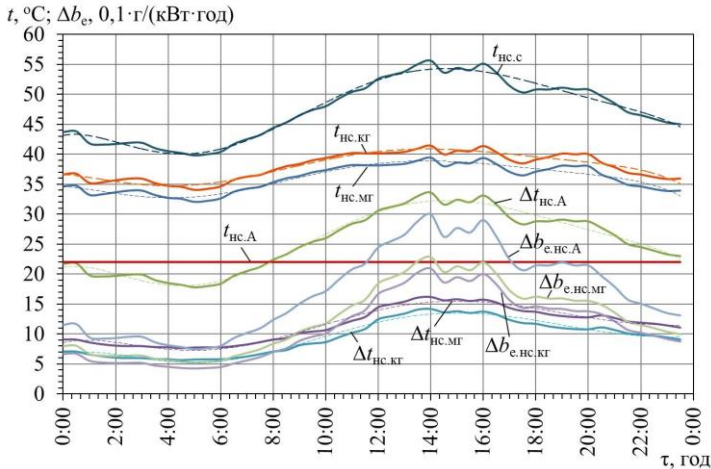


Рис. 10. Поточні значення температури охолодженого в ОНС_{нт} наддувної суміші систем оборотного охолодження ГПУ з градирнею сухого $t_{нс.с}$, мокрого $t_{нс.мг}$ і комбінованого $t_{нс.кг}$ типу та в АБХМ $t_{нс.А}$, зниження температури наддувної суміші ГПУ в ОНС_{нт} для розроблених систем охолодження: $\Delta t_{нс.мг} = t_{нс.с} - t_{нс.мг}$, $\Delta t_{нс.кг} = t_{нс.с} - t_{нс.кг}$, $\Delta t_{нс.А} = t_{нс.с} - t_{нс.А}$ (тут $t_{нс.А} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$) в порівнянні з температурою наддувної суміші $t_{нс.с}$ і радіатором, а також відповідне зменшення питомої витрати палива Δb_e : $\Delta b_{e \text{ нс.кг}}$, $\Delta b_{e \text{ нс.мг}}$ і $\Delta b_{e \text{ нс.А}}$ протягом доби (19.07.2014)

Як видно, найбільш ефективною є система з АБХМ.

Для оцінки ефекту від більш глибокого охолодження наддувного повітря в порівнянні з його традиційним охолодженням в радіаторі-градирні сухого типу було проведено розрахунок середньоексплуатаційної економічності ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) за даними по середньосезонних значеннях температур зовнішнього повітря $t_{зп}$ (с. Мішково-Погорілово, Миколаївська обл.) для трьох сезонних періодів: 1) $t_{зп}$ більше $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t_{зп.ср} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 2) $t_{зп}$ від $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t_{зп.ср} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 3) $t_{зп}$ менше $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t_{зп.ср} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рис. 11 представлені середньостатистичні значення тривалості експлуатації ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) на різних режимах навантаження для трьох сезонних періодів за даними середньосезонних значень температур зовнішнього повітря $t_{зп}$ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 2014 року.

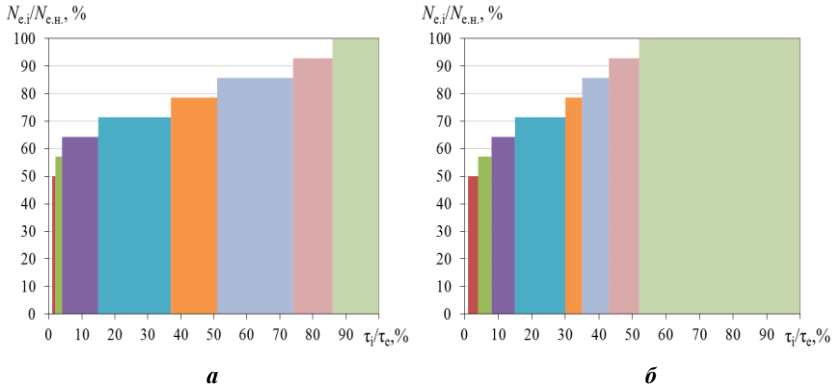


Рис. 11. Відносна потужність $N_{e,i}/N_{e,n}$ ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) і тривалість його експлуатації на кожному частковому режимі навантаження у відносному вигляді (у відсотках від тривалості його експлуатації в 2014 році) τ_i/τ_e для: **a** – $t_{zn,cr} = 25^\circ\text{C}$; **б** – $t_{zn,cr} = 0^\circ\text{C}$

Ефективність запропонованих способів охолодження наддувного повітря (газоповітряної суміші) ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) потужністю 1400 кВт оцінювали по зменшенню витрати газоподібного палива ΔB_e , м^3 (рис. 12, **a**), скороченню відповідних витрат коштів на спожитий газ $Ст$, дол. США (рис. 12, **б**), а також за зниженням вартості 1 кВт виробленої електроенергії в порівнянні з традиційним охолодженням повітря в системі оборотного охолодження з радіатором- градирнею сухого типу (рис. 13).

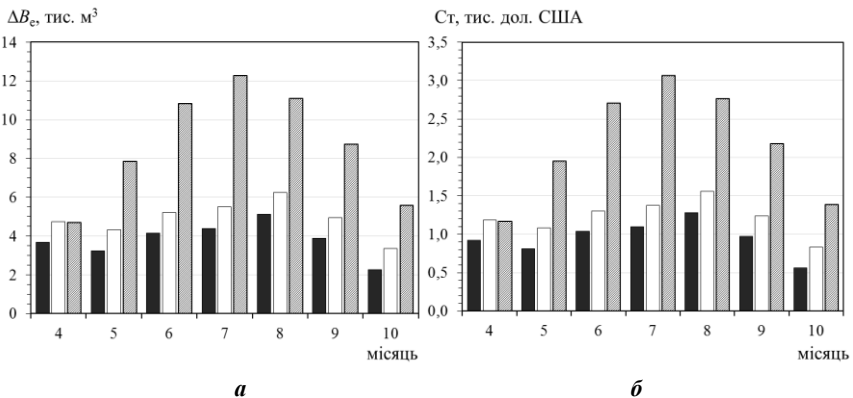


Рис. 12. Зменшення витрати газу ΔB_e , м^3 (**a**), а також скорочення витрат коштів за спожитий газ $Ст$, дол. США (**б**) за рахунок більш глибокого охолодження наддувного повітря ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) в порівнянні з його традиційним охолодженням в радіаторі-градирні сухого типу за квітень-жовтень 2014 р;

■ – градирня комбінованого типу; □ – мокра градирня; ▨ – АБХМ

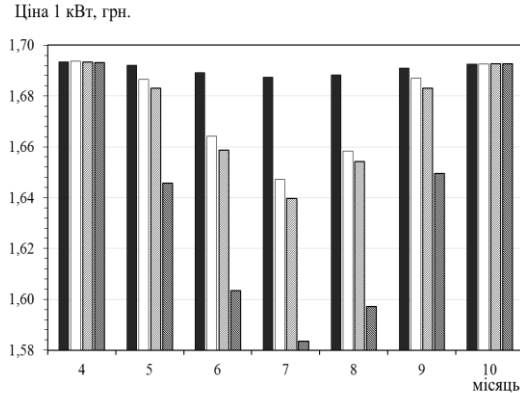


Рис. 13. Вартість 1 кВт виробленої електроенергії при охолодженні наддувного повітря ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) у розроблених системах і його традиційному охолодженні в системі оборотного охолодження з градирнею сухого типу за квітень-жовтень 2014 р.:

■ – градирня сухого типу, □ – комбінована, ▨ – мокра, ▩ – АБХМ

Як видно, більш глибоке охолодження наддувного повітря з використанням АБХМ дозволяє скоротити вартість 1 кВт електроенергії з 1,69 до 1,58 грн., тобто на 6,5 % в порівнянні з його традиційним охолодженням в радіаторі (градирні сухого типу).

ВИСНОВКИ

1. Виявлено резерви підвищення паливної економічності типової газопоршневої установки автономного енергозабезпечення (ГПУ) з абсорбційним термотрансформатором (АБТТ) більш глибоким охолодженням наддувного повітря в порівнянні з його охолодженням в радіаторі.

2. З метою оцінки ефекту від застосування запропонованих систем оборотного охолодження наддувного повітря ГПУ розроблені алгоритм і методика обробки масивів даних моніторингу паливної економічності ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) шляхом формування окремих масивів даних моніторингу з потужності $N_e = f(t_{зп})$ та витрати палива $B_e = f(t_{зп})$ при різних, але практично незмінних – з відхиленням в межах $\pm 0,5^\circ\text{C}$ – температурах повітря на вході турбокомпресора (ТК) $t_{вх}$. Порівняння даних з паливної ефективності ГПУ, отриманих у ході натурних випробувань та їх обробки із застосуванням зазначених алгоритма і методики, з результатами розрахунків з використанням програмного комплексу "Blitz-PRO", розробленого на кафедрі двигунів внутрішнього згорання НУК імені адмірала Макарова, показали задовільне узгодження.

3. Для ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L.) у складі типової установки автономного енергозабезпечення отримані залежності витрати палива B_e і електричної потужності N_e від температури зовнішнього повітря $t_{\text{зп}}$ на вході радіатора системи оборотного охолодження, відповідно і температури наддувного повітря при різних температурах повітря $t_{\text{вх}}$ на вході ТК, а також дані зі зміни витрати палива B_e і електричної потужності N_e , що припадають на зниження температури зовнішнього повітря $t_{\text{зп}}$ на вході радіатора (відповідно температури наддувного повітря) на 1°C , $dB_e / dt_{\text{зп}}$ і $dN_e / dt_{\text{зп}}$, при різних температурах повітря $t_{\text{вх}}$ на вході ТК ГПУ, виходячи з яких оцінюють ефект від реалізації схемних рішень системи охолодження наддувного повітря при експлуатації ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L.) на номінальній потужності (1400 кВт) і на часткових навантаженнях.

4. Для типової газопоршневої установки автономного енергозабезпечення 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L.) встановлено, що при високих температурах зовнішнього повітря $t_{\text{зп}} = 30...35^\circ\text{C}$ та повітря на вході ТК ГПУ $t_{\text{вх}} = 25...30^\circ\text{C}$ триконтурна система оборотного охолодження з АБТТ забезпечує зниження температури наддувного повітря на $15...25^\circ\text{C}$, відповідно зменшення питомої витрати палива на $2...5\%$ та збільшення електричної потужності на $12...18\%$ у порівнянні з традиційним охолодженням в радіаторі, тоді як двоконтурна система з градирнею мокрого типу забезпечує додаткове охолодження на $5...15^\circ\text{C}$, відповідно зменшення питомої витрати палива на $1...2\%$ та збільшення електричної потужності на $7...12\%$. Для експлуатації ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L.) в кліматичних умовах півдня України це дозволяє знизити вартість виробництва електричної енергії на $5...7\%$.

6. В результаті аналізу даних натурних випробувань типової газопоршневої установки автономного енергозабезпечення ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L.) запропоновані способи більш глибокого, в порівнянні з традиційним охолодженням в радіаторі, охолодження наддувного повітря ГПУ і схемні рішення дво- та триконтурних систем охолодження з градирнею мокрого типу і АБТТ, які не вимагають конструктивних змін газоповітряного тракту впускного ресивера ГПУ і можуть бути поширені на установки автономного енергозабезпечення з когенераційними ГПУ і газовими двигун-генераторами типу ДвГА вітчизняного виробництва (АТБТ "Первомайськдизельмаш").

7. Результати дослідження у вигляді схемних рішень систем охолодження наддувного повітря двигунів в установках автономного енергозабезпечення, методики розрахунку раціональних параметрів і рекомендації з проектування систем використані ТОВ "Хладотехніка" при розробці проекту холодопостачання установки автономного енергозабезпечення ТОВ "Сандора", а також в ПАТ "Завод "Екватор" при проектуванні та виготовленні теплообмінного обладнання, а також в навчальному процесі НУК імені адмірала Макарова.

Основні результати дисертації опубліковані в спеціалізованих виданнях:

1. Коновалов, А.В. Повышение эффективности газопоршневых двигателей увеличением охлаждающего и циклового воздуха [Текст] / А.В. Коновалов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2013. – № 1 (98). – С. 71–75. *Здобувачу належить розрахунок параметрів охолодження повітря ГПУ.*
2. Радченко, Н.И. Повышение эффективности системы оборотного охлаждения газопоршневых двигателей тригенерационной энергетической установки [Текст] / Н.И. Радченко, А.В. Коновалов, А.В. Грич // *Зб. наук. праць НУК*. – 2015. – Вип. № 5 (461). – С.81–85. *Визначення параметрів системи оборотного охолодження ГПУ.*
3. Радченко, А.Н. Методология обработки данных мониторинга топливной эффективности газового двигателя с системой оборотного охлаждения газозооушной смеси / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 3(110). – С. 82–85. *Обробка даних моніторингу роботи ГПУ.*
4. Радченко, А.М. Сумісна робота когенерационного газопоршневого двигуна та абсорбционного термотрансформатора установки автономного энергообеспечения [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Коновалов, О.В. Остапенко // *Зб. наук. праць НУК*. – 2013. – Вип. № 5-6. – С.35–40. *Визначення умов сумісної роботи ГПУ і термотрансформатора.*
5. Радченко, А.Н. Метод обработки данных мониторинга топливной эффективности газового двигателя [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // *Зб. наук. праць НУК*. – 2013. – Вип. № 5-6. – С.96–99. *Розрахунок даних моніторингу паливної ефективності ГПУ.*
6. Радченко, Н.И. Охлаждение воздуха на входе и наддувочной газозооушной смеси газопоршневого двигателя установки автономного энергообеспечения [Текст] / Н.И. Радченко, А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 6(93). – С. 59–63. *Спосіб охолодженні газоповітряної суміші.*
7. Радченко, А.Н. Охлаждение приточного воздуха машинного отделения газопоршневых двигателей установки автономного энергообеспечения [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 10(97). – С.68–71. *Аналіз типової системи охолодження припливного повітря машинного відділення.*
8. Согласование работы абсорбционного термотрансформатора с когенерационным газопоршневым модулем установки автономного энергообеспечения [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов, А.В. Остапенко, А.С. Манилов // *Вестник двигателестроения*. – 2012. – № 2. – С.65–69. *Визначення умов експлуатації газопоршневого модуля.*
9. Радченко, Н.И. Утилизация тепла уходящих газов дизель-генератора с охлаждением воздуха на входе приводного двигателя [Текст] / Н.И. Радченко, А.В. Коновалов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 9(86). – С. 33–38. *Аналіз ефективності традиційної системи утилізації дизель-генератора.*
10. Радченко, А.Н. Согласование работы когенерационного модуля газового двигателя и абсорбционного термотрансформатора [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов, Л.А. Остапенко // *Газотурбинные технологии: Рыбинск*. – 2013. – № 4 (115). – С. 30 – 33. *Визначення умов експлуатації когенерационних ГПУ.*
11. Охлаждение воздуха машинного отделения газовых двигателей [Текст] / А.Н. Радченко, Е.И. Трушляков, А.В. Коновалов, С.Г. Фордуй, В.В. Цуцман // *Холодильна техніка та технологія*, вип. 4 (138), ОДАХ. – 2012. – С. 163–166. *Аналіз системи охолодження повітря машинного відділення ГПУ.*

12. Радченко, М.І. Охолодження повітря на вході дизель-генератора турбодетандером [Текст] / М.І. Радченко, А.В. Коновалов // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: ОНАХТ. – 2011.– Вип.39. – Т.1. – С. 48–52. *Визначення умов експлуатації дизель-генератора.*

13. Анализ эффективности охлаждения воздуха и газозвоздушной смеси тригенерационного газопоршневого двигателя [Текст] / Н.И. Радченко, А.Н. Радченко, А.В. Коновалов, Т. Бохдаль // Обладнання та технології харчових виробництв: Зб. наук. праць ДонНУЕТ. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2012. – Вип. 29. – Т.2. – С.120–126. *Аналіз ефективності охолодження наддувного повітря.*

14. Радченко, А.Н. Повышение эффективности дизель-генераторов использованием тригенерации [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // Техногенна безпека: Наукові праці ЧДУ ім. П.Могили.– Миколаїв: ЧДУ.– 2009 Т. 111.– Вип. 98.– С. 39–43. *Визначення умов експлуатації дизель-генераторів з охолодженням повітря.*

Основні публікації, в яких додатково викладено зміст дисертації:

15. Radchenko, A.M. Cooling cyclic intake air and charged gas-air mixture in gas engine of plant for combined energy supply [Text] / A.M. Radchenko, A.V. Kononov // Proceedings of the 14 International Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy: HTRSE–2012. – Szczecin, Poland. – 2012. – P. 497–502. *Розрахунок параметрів охолодження наддувного повітря ГПУ.*

16. Коновалов, А.В. Методология обработки данных мониторинга топливной эффективности газового двигателя с ситемой оборотного охлаждения газозвоздушной смеси [Текст] / А.В. Коновалов // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали V м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2014. – С. 292–296. *Розробка методики обробки результатів моніторингу паливної ефективності ГПУ.*

17. Радченко, А.Н. Охлаждение циклового воздуха газопоршневого двигателя автономного энергообеспечения [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // Холод в енергетиці і на транспорті: сучасні проблеми кондиціонування та рефрижерації: Матеріали II м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2013. Частина 1 – С. 270–276. *Аналіз паливної ефективності ГПУ при охолодженні циклового повітря.*

18. Инновационные технологии повышения эффективности установки автономного электро-, тепло- и холодообеспечения [Текст] / А.Н. Радченко, С.Г. Фордуй, Н.И. Радченко, А.В. Коновалов // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали IV м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 230–235. *Визначення показників економичності ГПУ.*

19. Радченко, А.Н. Поддержание термического состояния когенерационного модуля газового двигателя тригенерационной установки [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // Сучасні проблеми холодильної техніки і технології: Збірник тез доповідей IX м.-н. н.-т. конф. – Одеса: ОНАХТ, 2013. – С. 135–138. *Аналіз ефективності ГПУ при забезпеченні постійного термічного стану.*

20. Радченко, Н.И. Повышение эффективности когенерационного дизель-генератора [Текст] / Н.И. Радченко, А.В. Коновалов // Суднова енергетика: Стан та проблеми: Матеріали V м.-н. н.-т. конф. студентів, аспірантів, науковців та фахівців. – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 121–124. *Обґрунтування та аналіз підвищення ефективності когенераційної енергетичної установки.*

21. Радченко, А.Н. Методика обработки данных по топливной эффективности газопоршневого двигателя на номинальном режиме по результатам мониторинга [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // Матеріали XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції "Актуальні проблеми енергетики та екології". – Одеса: ФОП

Грінь Д.С. – 2016. – С. 281 – 289. *Обробка результатів моніторингу паливної ефективності ГПУ.*

22. Радченко, А.Н. Результаты обработки данных мониторинга топливной эффективности газопоршневого двигателя при эксплуатации на частичных нагрузках [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // Матеріали XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції "Актуальні проблеми енергетики та екології". – Одеса: ФОП Грінь Д.С. – 2016. – С. 289 – 292. *Обробка та аналіз моніторингу роботи ГПУ на часткових режимах.*

23. Радченко, А.Н. Климатические характеристики топливной эффективности газопоршневого двигателя установки автономного энергообеспечения по данным мониторинга [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VII м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2016. – С. 214–216. *Визначення показників економічності ГПУ за результатами обробки даних моніторингу.*

24. Радченко, А.Н. Климатические характеристики топливной эффективности газопоршневого двигателя установки автономного энергообеспечения при работе на частичной нагрузке [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VII м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2016. – С. 216–219. *Показники економічності ГПУ при роботі на часткових режимах.*

АНОТАЦІЯ

Коновалов А.В. Підвищення економічності газопоршневої установки автономного енергозабезпечення охолодженням наддувного повітря абсорбційним термотрансформатором. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – Двигуни та енергетичні установки. – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2017.

Дисертація присвячена підвищенню паливної ефективності газопоршневих установок автономного енергозабезпечення при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря шляхом більш глибокого, порівняно з радіаторним, охолодження наддувного повітря абсорбційним термотрансформатором.

Розроблено та реалізовано підхід до охолодження наддувного повітря ГПУ установок автономного енергозабезпечення при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря, який полягає у використанні типового для таких установок обладнання: абсорбційного термотрансформатора з градируєю мокрого типу – для більш глибокого, порівняно з радіатором, зниження температури наддувного повітря.

Розроблено та досліджено способи охолодження наддувного повітря ГПУ при підвищених зовнішніх температурах і схемні рішення дво- та триконтурних систем його охолодження абсорбційним термотрансформатором, що реалізують ці способи.

За результатами моніторингу типової газопоршневої установки автономного енергозабезпечення отримані дані з залежності потужності та витрати палива ГПУ 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) від температури зовнішнього повітря на вході радіатора системи оборотного охолодження і, відповідно,

температури наддувного повітря, розроблений алгоритм і методика обробки масивів даних з паливної ефективності, виходячи з яких оцінюють ефект від реалізації запропонованих технічних рішень при експлуатації ГПУ на номінальній потужності та часткових навантаженнях.

Визначено умови раціонального використання запропонованих дво- та триконтурних систем оборотного охолодження наддувного повітря ГПУ абсорбційним термотрансформатором.

Ключові слова: установка автономного енергозабезпечення, газопоршневий двигун, наддувне повітря, охолодження, абсорбційний термотрансформатор, градирня, паливна економічність.

АННОТАЦИЯ

Коновалов А.В. Повышение экономичности газопоршневой установки автономного энергообеспечения охлаждением наддувочного воздуха абсорбционным термотрансформатором. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Двигатели и энергетические установки. – Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2017.

Диссертация посвящена повышению топливной эффективности газопоршневых установок (ГПУ) автономного энергообеспечения при эксплуатации в условиях повышенных температур наружного воздуха путем более глубокого, по сравнению с радиаторным, охлаждением наддувочного воздуха ГПУ абсорбционным термотрансформатором.

Разработано и реализовано подход к охлаждению наддувочного воздуха ГПУ установок автономного энергообеспечения при эксплуатации в условиях повышенных температур наружного воздуха, который состоит в использовании типового для таких установок оборудования: абсорбционного термотрансформатора с градирней мокрого типа – для более глубокого, по сравнению с радиатором, снижения температуры наддувочного воздуха.

Разработано и исследовано способы охлаждения наддувочного воздуха ГПУ при повышенных наружных температурах и схемные решения двух- и трехконтурных систем его охлаждения абсорбционным термотрансформатором, которые реализуют эти способы.

По результатам мониторинга типовой газопоршневой установки автономного энергообеспечения 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L.) получены данные по зависимости мощности и расхода топлива от температуры наружного воздуха на входе радиатора системы оборотного охлаждения и, соответственно, температуры наддувочного воздуха, разработан алгоритм и методика обработки массивов данных по топливной эффективности, исходя из которых оценивают эффект от реализации предложенных технических решений при эксплуатации ГПУ на номинальной мощности и на частичных нагрузках.

Определены условия рационального использования предложенных двух- и трехконтурных систем оборотного охлаждения наддувочного воздуха ГПУ абсорбционным термотрансформатором.

Ключевые слова: установка автономного энергообеспечения, газопоршневой двигатель, наддувочный воздух, охлаждение, абсорбционный термотрансформатор, градирия, топливная экономичность.

ABSTRACT

Kononov A.V. Increasing the economy of reciprocating gas integrated energy plant by scavenge air cooling in the absorption thermotransformer. – Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of the candidate of technical sciences on speciality 05.05.03 – Engines and power plants.– Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mikolayiv, 2017.

The dissertation is devoted to increasing the fuel efficiency of reciprocating gas engines of integrated energy plant during operation in conditions with increased ambient air temperatures due to more deep cooling of reciprocating gas plant (RGP) scavenge air in absorption thermotransformer as compared with dry cooling in radiator.

The approach of scavenge air cooling in RGP of integrated energy plants for operation in conditions with increased ambient air temperatures according to which the absorption thermotransformer with wet cooling tower is applied as typical equipment for such plants was developed and realized.

The methods of scavenge air cooling in RGP at increased ambient air temperatures and schemes of two- and three circuits cooling systems with absorption thermotransformer and wet cooling tower were developed and investigated.

By monitoring the typical reciprocating gas integrated energy plant the data of power output and fuel consumption for RGP 20ЧГН 14,5/18,5 (JMS 420 GS-N.L) dependence from ambient air temperature at the inlet of scavenge air cooling radiator and corresponding scavenge air temperature were received and the algorithm and method for treatment of fuel consumption data used for estimation of the effect from the realization of the proposed technical decision during operation of RGP at specified and part loads were developed.

The conditions of rational application of the proposed two- and three circuit RGE scavenge air cooling systems with absorption thermotransformer were determined.

Key words: integrated energy plant, reciprocating gas engine, scavenge air, cooling, absorption thermotransformer, cooling tower, fuel efficiency.