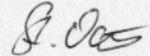


Нвторедф д
0-76

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

ОСТАПЕНКО ОЛЕКСІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ 

УДК 621.574

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ
ТЕПЛОТИ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ГАЗОПОРШНЕВИХ
МОДУЛІВ УСТАНОВОК АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРО-,
ТЕПЛО- ТА ХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Спеціальність 05.05.14 – Холодильна, вакуумна та компресорна техніка,
системи кондиціонування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки (МОН) України

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

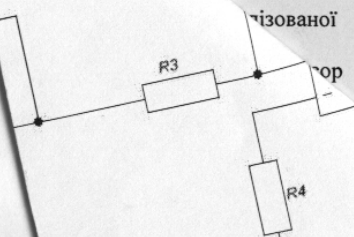
Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор
Тітлов Олександр Сергійович,
завідувач кафедри теплоенергетики та
трубопровідного транспорту енергоносіїв Одеської
національної академії харчових технологій МОН
України,

доктор технічних наук, професор
Ткаченко Станіслав Йосипович,
завідувач кафедри теплоенергетики Вінницького
національного технічного університету МОН України

Захист дисертації відбудеться « 3 » *жовтня* 2016 р. о *14 00* годині
в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д41.088.03 в Одеській
національній академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3,
м. Одеса, 65082, Україна.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотечі Одеської національної
академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса,
65082, Україна.

Т розіслано « 29 » *серпня* 2016р.



В.І. Мілованов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В руслі загальносвітової тенденції децентралізації енергопостачання все більшого поширення набувають установки автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення (УАЕТХ), в яких скидна теплота привідних двигунів електрогенераторів трансформується в холод тепловикористовуючими холодильними машинами (ТХМ), а холод використовується на технологічні потреби та кондиціонування повітря різних об'єктів. Особливо перспективним є застосування для приводу електрогенераторів газопоршневих двигунів (ГПД), що випускаються в когенераційному виконанні – зі штатними теплообмінниками, в яких скидна теплота відводиться на нагрів води (теплоносія), теплота якого в свою чергу трансформується в холод абсорбційною бромистолітєвою холодильною машиною (АБХМ). Термічний стан ГПД забезпечується підтриманням температури зворотного (охолодженого) теплоносія на вході ГПД не вище 70 °С. В той же час ефективність трансформації теплоти в холод в АБХМ висока за умови зниження температури теплоносія в АБХМ не більше ніж на 10...15 °С, тобто до 75...80 °С при його температурі на виході з ГПД (на вході АБХМ) 90 °С. Через суперечливі вимоги до ефективної роботи ГПД і АБХМ по температурі теплоносія для підтримання температури зворотного теплоносія на вході ГПД на безпечному рівні 70 °С він додатково охолоджується в градирні "аварійного скидання". При цьому втрати теплоти сягають 30 %, внаслідок чого загальний ККД (електричний і тепловий) знижується до 0,6 порівняно з 0,8 за відсутності теплових втрат в УАЕТХ.

Трансформації теплоти в холод присвячені роботи В.С. Мартиновського, Ю.В. Захарова, С.З. Жадана, Л.І. Морозюк, Б.Д. Білеки, М.І. Радченка, М.Г. Хмельнюка, О.С. Тітлова, С.Й. Ткаченка, S. Campanary, M. Carvalho, інших відомих учених. Однак залишаються невирішеними питання скорочення теплових втрат, зумовлених неузгодженістю режимів сумісної роботи ГПД і АБХМ при трансформації теплоти в УАЕТХ.

Науково-прикладною задачею, яка вирішується в дисертаційній роботі, є розробка систем трансформації скидної теплоти установок електро-, тепло- та холодозабезпечення, які забезпечують узгодження режимів ефективної роботи когенераційних модулів ГПД та АБХМ за мінімальних втрат теплоти і, як наслідок, підвищення енергоефективності установок.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наведені в дисертації матеріали узагальнюють результати робіт, виконаних автором у рамках державної науково-технічної програми "Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі", НДР № 0115U000300 "Науково-технічні основи тригенераційних полінарних технологій на низькокиплячих робочих тілах для двигунів і енергетичних установок", в якій автор брав участь як молодший науковий співробітник.

Метою наукового дослідження є підвищення ефективності трансформації скидної теплоти в холод в установках автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення шляхом узгодження сумісної роботи когенераційних модулів ГПД і АБХМ за мінімальних теплових втрат.

Основні задачі наукового дослідження:

– виявити і реалізувати резерви скорочення теплових втрат при трансформації скидної теплоти в холод в УАЕТХ шляхом узгодження режимів сумісної роботи АБХМ і когенераційних модулів ГПД по температурі зворотного теплоносія;

– розробити вдосконалені фізичну та математичну моделі процесів трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод в АБХМ з урахуванням особливостей їх сумісної роботи і зміни кліматичних умов експлуатації, підтвердити адекватність моделей даними моніторингу параметрів трансформації теплоти в УАЕТХ і фірм-розробників АБХМ;

– розробити способи раціональної організації процесів трансформації теплоти когенераційних модулів ГПД в холод і визначити раціональні параметри процесів, що забезпечують зменшення теплових втрат;

– розробити системи трансформації скидної теплоти в холод в УАЕТХ, які забезпечують узгодження режимів сумісної роботи АБХМ і когенераційних ГПД з мінімальними втратами теплоти, підвищення термодинамічної ефективності трансформації скидної теплоти.

Об'єктом дослідження є процеси трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод тепловикористовуючими холодильними машинами в установках автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення.

Предмет дослідження – процеси і параметри процесів трансформації скидної теплоти в холод в установках автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення з узгодженням режимів сумісної роботи когенераційних модулів ГПД та АБХМ.

Методи дослідження: фізичний та математичний методи дослідження при натурних випробуваннях та моделюванні системи трансформації теплоти в АБХМ. Раціональні параметри процесів трансформації скидної теплоти ГПД в холод обчислювалися за розробленою програмою розрахунку характеристик системи трансформації теплоти в АБХМ, адекватність результатів якої підтверджено даними моніторингу параметрів трансформації теплоти в холод в УАЕТХ і специфікаційними характеристиками фірм-виробників АБХМ.

Наукові результати, які автор захищає, та їхня новизна:

1. Вперше запропоновано і реалізовано принципово новий підхід до узгодження режимів сумісної роботи АБХМ і когенераційного модуля ГПД по температурі зворотного теплоносія в УАЕТХ, який базується на принципі повернення охолодженого теплоносія до ГПД потоками з різною температурою в залежності від температурного рівня джерел тепловиділення і забезпечує мінімальні втрати теплоти та підтримання термічного стану ГПД.

2. Вперше запропоновано і досліджено багатопотокові системи трансформації скидної теплоти ГПД в холод в УАЕТХ, які забезпечують узгодження режимів сумісної роботи АБХМ і когенераційних ГПД за мінімальних втрат теплоти і, як наслідок, підвищення термодинамічної ефективності трансформації скидної теплоти зі збільшенням теплового коефіцієнта ζ_{cy} системи утилізації від 0,55 до 0,8.

3. Розроблено способи раціональної організації процесів трансформації скидної теплоти в холод і визначено раціональні параметри процесів, що забезпечують зменшення втрат при трансформації теплоти в холод понад 50%, зростання термічного ККД когенераційних ГПД з 20 % до 30 % і загального

ККД з 60% до 70%.

4. Удосконалено фізичну та математичну моделі процесів трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод в АБХМ з урахуванням особливостей їх сумісної роботи і зміни кліматичних умов експлуатації та підтверджена адекватність моделей даними моніторингу параметрів процесів трансформації теплоти в УАЕТХ і фірм-виробників АБХМ.

5. Розроблені підхід та способи раціональної трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод, удосконалені фізична та математична моделі процесів трансформації теплоти у сукупності складають теоретичну основу вдосконаленого методу розрахунку, проектування та конструювання систем трансформації теплоти когенераційних ГПД в холод, що забезпечують розв'язання комплексних проблем ефективності і використання паливно-енергетичних ресурсів в УАЕТХ.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечуються коректною постановкою завдань теоретичного й експериментального дослідження, підтвердженням адекватності математичної моделі із задовільним узгодженням розрахункових і експериментальних даних, застосуванням сучасних методів експериментального дослідження, методів аналітичного та чисельного моделювання.

Практичну цінність становлять наступні результати дослідження: дані з теплових втрат за результатами моніторингу параметрів системи трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод в УАЕТХ, які обумовлені неузгодженістю режимів сумісної роботи АБХМ і когенераційного модуля ГПД по температурі зворотного теплоносія; схемні рішення багатопоточних систем утилізації скидної теплоти когенераційних ГПД з АБХМ, що забезпечують зменшення втрат теплоти і відповідне зростання теплового коефіцієнта систем трансформації теплоти в холод в УАЕТХ; методика і програма розрахунку характеристик і параметрів системи трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод в УАЕТХ з урахуванням зміни кліматичних умов експлуатації.

Особистий внесок здобувача полягає у виявленні та реалізації резервів підвищення ефективності трансформації скидної теплоти в УАЕТХ, пов'язаних з втратами теплоти зворотного теплоносія; принципово новому підході до повернення в ГПД охолодженого теплоносія потоками з різною температурою залежно від температурного рівня джерел тепловиділення в ГПД; удосконаленні математичної моделі процесів трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод з урахуванням теплових втрат зворотного теплоносія тепловим коефіцієнтом ζ_{cy} системи утилізації теплоти та зміни кліматичних умов експлуатації ГПД; розробці способів раціональної організації процесів трансформації скидної теплоти в холод і схемних рішень багатопоточних систем трансформації скидної теплоти в УАЕТХ, визначенні раціональних параметрів процесів, які зводять до мінімуму втрати теплоти при її трансформації в холод; обробці даних натурних випробувань з параметрів системи трансформації скидної теплоти та їх узагальненні у вигляді показників ефективності трансформації теплоти в холод (теплового коефіцієнта ζ_{cy} системи утилізації, холодопродуктивності УАЕТХ).

Апробація і повнота викладення результатів роботи у публікаціях. Основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження одер-

жали позитивну оцінку на міжнародних конференціях: "Холод в енергетиці і на транспорті: сучасні проблеми кондиціонування та рефрижерації" (Миколаїв: НУК, 2013, 2015); "Сучасні проблеми холодильної техніки і технології" (Одеса, ОНАХТ, 2013), "Еколого-енергетичні проблеми сучасності" (Одеса, ОНАХТ, 2015 р.); "Інновації в суднобудуванні й океанотехніці" (Миколаїв: НУК, 2013–2015); VII, VIII конференції "Проблеми екології й енергозбереження в суднобудуванні" (Миколаїв: НУК, 2014, 2016).

Публікації. По темі дисертації опубліковані 21 наукові праці, у тому числі 8 статей у спеціалізованих виданнях (5 в наукометричних і 1 в закордонному) та 13 доповідей і тез доповідей (без співавторів 7).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг дисертації становить 147 сторінок основного машинописного тексту і 3 сторінок додатків, 80 рисунків і 14 таблиць. Бібліографія містить 127 найменувань на 15 сторінках.

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 отриманню холоду в установках автономного електро-, тепло- та холодозабезпечення (УАЕТХ) шляхом трансформації скидної теплоти, зокрема когенераційних модулів на базі ГПД, тепловикористовуючими холодильними машинами (ТХМ). Проаналізовано існуючі схеми систем відведення теплоти від когенераційних модулів ГПД і показано, що при різних схемах відведення теплоти від вузлів охолодження повернення зворотного теплоносія в когенераційні модулі здійснюється однопоточними схемами. На підставі аналізу наявної інформації визначено проблеми, які мають місце при трансформації скидної теплоти ГПД в УАЕТХ і пов'язані з суперечливими вимогами до температури зворотного теплоносія з боку ГПД та АБХМ і спричиняють, в свою чергу, значні теплові втрати. За результатами аналізу сформульовано мету і задачі наукового дослідження.

У другому розділі обґрунтовано напрям підвищення ефективності трансформації скидної теплоти в УАЕТХ шляхом скорочення втрат теплоти зворотного теплоносія з дотриманням умов забезпечення термічного стану ГПД, подано гіпотези вирішення поставлених завдань, стисло викладено методологічні засади дослідження.

На рис. 1 наведені варіанти стандартних схем відведення теплоти від вузлів охолодження двигуна та випускних газів в утилізаційному котлі-економізаторі (УК) для нагріву теплоносія (води) з подачею зворотного теплоносія на вхід ГПД когенераційного модуля єдиним потоком з температурою не вище 70 °С.

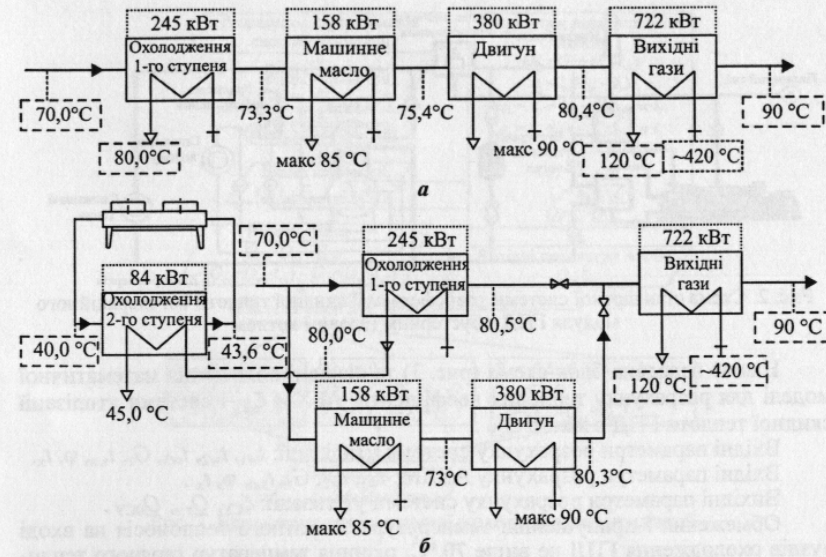


Рис. 1. Стандартні схеми відведення теплоти від вузлів охолодження ГПД та випускних газів в утилізаційному котлі-економізаторі (УК) для нагріву теплоносія (води) з подачею зворотного теплоносія на вхід ГПД когенераційного модуля єдиним потоком з температурою не вище 70 °С: *а* – однопоточна схема відведення теплоти від джерел тепловиділення ГПД; *б* – розгалужена схема відведення теплоти від джерел тепловиділення ГПД

Особливістю УАЕТХ технологічних виробництв є резервування тепла холодогенеруючого обладнання: наявність бустерного газового котла для підвищення температури теплоносія, відведеного від когенераційних ГПД, а також резервної АБХМ як умови безперерійного холодопостачання. Саме з можливості використання бустерного газового котла та резервної АБХМ виходять при розробці вдосконалених систем трансформації скидної теплоти в холод в УАЕТХ.

У третьому розділі наведено основні положення математичної моделі та результати порівняння розрахованих за моделлю показників ефективності трансформації теплоти в холод з тепловими характеристиками АБХМ, наведеними фірмами-розробниками, а також з даними моніторингу параметрів роботи АБХМ діючої установки УАЕТХ, що підтверджують її адекватність.

Принципова схема стандартної системи трансформації скидної теплоти когенераційного модуля ГПД наведена на рис. 2.

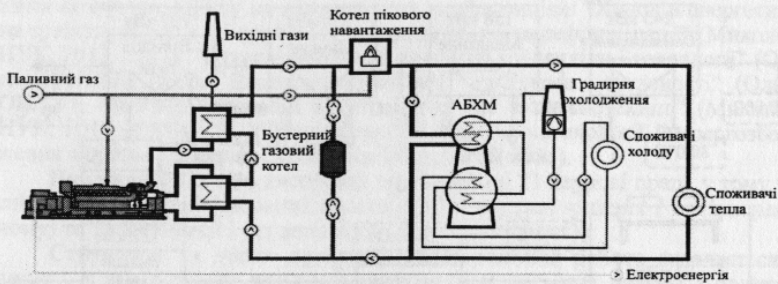


Рис. 2. Схема стандартної системи трансформації скидної теплоти когенераційного модуля ГПД з бустерним газовим котлом

Нижче наведена блок-схема (рис. 3) та основні положення математичної моделі для розрахунку теплових коефіцієнтів АБХМ ζ_A і системи утилізації скидної теплоти ГПД в холод $\zeta_{СУ}$.

Вхідні параметри розрахунку системи утилізації: $t_{w1}, t_{w2}, t_{w3}, G_r, t_{3,п}, \Phi, t_x$.

Вхідні параметри розрахунку АБХМ: $t_{w1}, t_{w2}, G_r, t_{3,п}, \Phi, t_x$.

Вихідні параметри розрахунку системи утилізації: $\zeta_{СУ}, Q_{г.в}, Q_{0СУ}$.

Обмеження і припущення: температура зворотного теплоносія на вході вузлів охолодження ГПД не вище 70 °С, різниця температур гарячого теплоносія на вході та виході АБХМ не більше 15 °С.

Основні рівняння математичної моделі.

Теплове навантаження на генератор водяної пари АБХМ: $Q_{г.А} = G_r c_r (t_{w1} - t_{w2})$, де G_r – витрата теплоносія (гарячої води); c_r – теплоємність теплоносія; t_{w1} і t_{w2} – температури теплоносія (гарячої води) на вході та виході АБХМ.

Тепловий коефіцієнт АБХМ $\zeta_A = q_0 / q_h$.

Холодопродуктивність АБХМ: $Q_0 = \zeta_A Q_{г.А}$

Тепловий коефіцієнт системи утилізації $\zeta_{СУ} = Q_0 / Q_{г.с} = Q_0 / (Q_{г.А} + Q_{г.п})$, де $Q_{г.с}$ – вся теплота, відведена від когенераційного ГПД; $Q_{г.п}$ – невикористана в АБХМ теплота.

Концентрація слабкого розчину $\xi_a = f(p_a, t_2)$, %.

Концентрація міцного розчину $\xi_r = f(p_h, t_4)$, %.

Зона дегазації $\Delta \xi = \xi_a - \xi_r$, %.

Кратність циркуляції розчину $\alpha = \xi_r / \Delta \xi$.

Питомі теплові навантаження:

генератора: $q_h = i_3 + (\alpha - 1) i_4 - \alpha i_7$, кДж/кг;

абсорбера: $q_a = i_1 + (\alpha - 1) i_8 - \alpha i_2$, кДж/кг;

випарника: $q_0 = i_1 - i_3$, кДж/кг;

конденсатора: $q_k = i_3 - i_3$, кДж/кг;

теплота, підведена до АБХМ: $q_{підв} = q_h + q_0$, кДж/кг;

теплота, відведена від АБХМ: $q_{відв} = q_k + q_a$, кДж/кг.

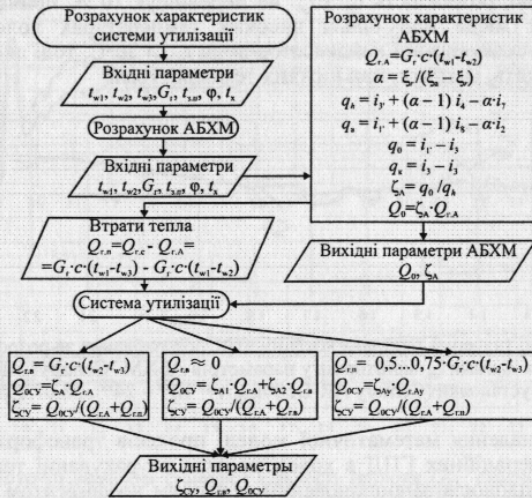


Рис. 3. Блок-схема математичної моделі системи утилізації

Перевірку адекватності математичної моделі проведено порівнянням з тепловими характеристиками АБХМ фірм-розробників (рис. 4) та з даними моніторингу параметрів роботи АБХМ діючої установки УАЕТХ (рис. 5).

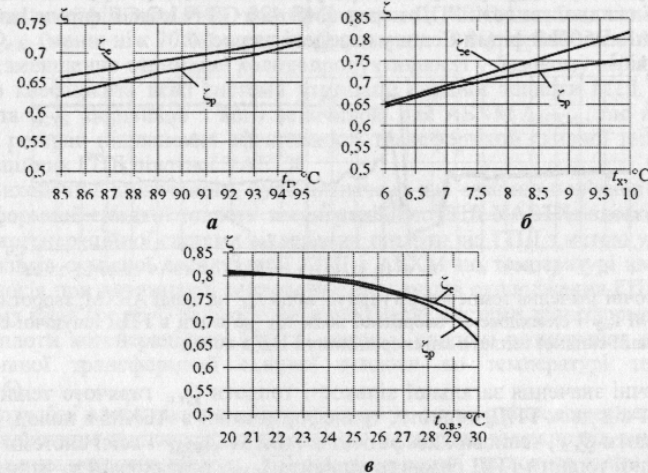


Рис. 4. Залежності теплових коефіцієнтів АБХМ, розрахованих за розробленою програмою ζ_p , та за даними фірм-розробників ζ_c в залежності від температур: а – гарячого теплоносія t_{r1} на вході при $t_{0,в} = 31^\circ\text{C}$, $t_x = 7^\circ\text{C}$; б – холодної води t_x при $t_{0,в} = 31^\circ\text{C}$, $t_{r1} = 90^\circ\text{C}$ і $t_{r2} = 80^\circ\text{C}$; в – охолоджувальної води $t_{0,в}$ при $t_{r1} = 90^\circ\text{C}$ і $t_{r2} = 80^\circ\text{C}$, $t_x = 7^\circ\text{C}$

Як видно, розбіжність ζ_p і ζ_c не перевищує 10 %, причому більша її величина має місце при більш високих температурах холодоносія $t_x = 9...10^\circ\text{C}$ і охолоджувальної конденсатор води $t_{o,b} > 30^\circ\text{C}$, тоді як експлуатація АБХМ проходить, навпаки, при нижчих температурах.

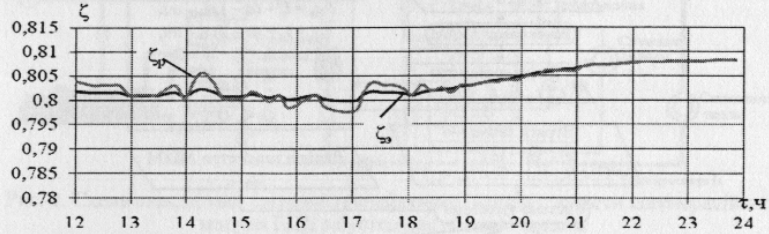


Рис. 5. Поточні значення теплових коефіцієнтів, розрахованих за розробленою програмою ζ_p , та за даними ζ_c моніторингу параметрів АБХМ "Century" AR-D500L2 діючої установки (Century AR-D500L2, $\tau = 12^{00} - 24^{00}$, 28.07.2011)

Вдосконалення математичної моделі процесів трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод полягає в урахуванні теплових втрат зворотного теплоносія запропонованим тепловим коефіцієнтом ζ_{cy} системи утилізації теплоти, який в свою чергу дозволяє виявити резерви їх скорочення та оцінити поточну ефективність трансформації скидної теплоти в холод у запропонованих системах з урахуванням зміни кліматичних умов експлуатації ГПД.

Результати моніторингу температури теплоносія (води) системи трансформації скидної теплоти ГПД марки JMS 420 GS-N.LC GE фірми Jenbacher в АБХМ AR-D500L2 фірми Century наведені на рис. 6.

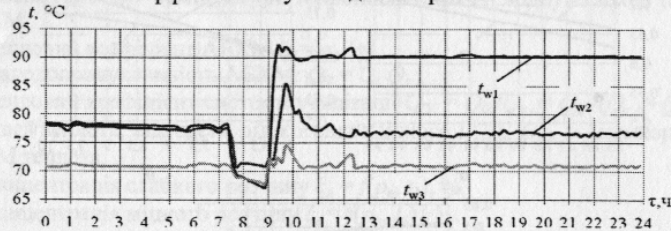


Рис. 6. Поточні значення температури гарячої води t_{w1} на вході АБХМ, зворотної води після АБХМ t_{w2} і охолодженої зворотної води t_{w3} на вході в ГПД існуючої системи трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод

Поточні значення загальної кількості теплоти $Q_{г.с}$ гарячого теплоносія, відведеної від двох ГПД, теплоти, трансформованої в АБХМ в холод $Q_{г.а}$, і втрат теплоти $Q_{г.п}$, теплових коефіцієнтів АБХМ $\zeta_{АБХМ}$ і всієї системи утилізації скидної теплоти ГПД базового варіанта ζ_{cy6} , розраховані за даними моніторингу (упродовж 28.07.2011; $\tau = 0^{00} - 9^{00}$ - АБХМ відключена), наведено на рис. 7.

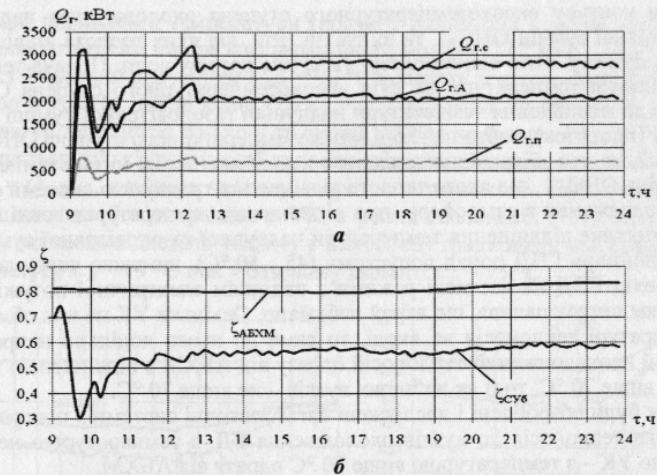


Рис. 7. Поточні значення сумарної кількості теплоти $Q_{г.с}$ гарячого теплоносія, відведеної від двох ГПД, теплоти, трансформованої в АБХМ в холод $Q_{г.а}$, і втрат теплоти $Q_{г.п}$ (а), теплових коефіцієнтів АБХМ $\zeta_{АБХМ}$ і всієї системи утилізації скидної теплоти ГПД базового варіанта ζ_{cy6} (б), упродовж (28.07.2011) за даними моніторингу ($\tau = 0^{00} - 9^{00}$ - АБХМ відключена)

Як видно з рис. 7, від загальної кількості теплоти $Q_{г.с}$ гарячого теплоносія, відведеної від двох ГПД, трансформується в АБХМ в холод тільки її частина $Q_{г.а}$ (менш ніж 70 %), а решта $Q_{г.п}$ (понад 30 %) втрачається, наслідком чого є зменшення отриманої холодопродуктивності у базовому варіанті і теплового коефіцієнта всієї системи утилізації скидної теплоти ГПД базового варіанта ζ_{cy6} порівняно з його величиною для АБХМ $\zeta_{АБХМ}$, що вказує на значні резерви підвищення ефективності трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД пілотної УАЕТХ.

Виходячи з зазначеного, було визначено два взаємно пов'язані напрями трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД УАЕТХ: вдосконалення самої когенераційної системи відведення теплоти від ГПД з метою узгодження режимів сумісної експлуатації ГПД і АБХМ по температурі зворотного теплоносія при дотриманні теплового стану вузлів охолодження ГПД на безпечному рівні (розд. 4) та вдосконалення власне системи трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод у напрямі розширення діапазону ефективної трансформації скидної теплоти по температурі теплоносія (розд. 5).

Розробці вдосконалених багатопоточних систем відведення теплоти від ГПД зворотним теплоносієм з різною температурою залежно від джерел тепловиділення когенераційного ГПД при дотриманні теплового стану його вузлів охолодження на безпечному рівні присвячено розділ 4. Джерелами скидної теплоти в ГПД є охолоджувальне масло, вода замкненого контуру високо-температурного охолодження рубашки двигуна, охолоджувальна вода за-

мкненого контуру високотемпературного ступеня охолоджувача наддувної газоповітряної суміші ОНС_{ВТ} та випускні гази, від яких теплота відводиться в утилізаційному котлі-економайзері (УК) для нагріву води. Подача теплоносія підвищеної температури на вхід високотемпературного ступеня ОНС_{ВТ} призведе до підвищення температури наддувної газоповітряної суміші на його виході (протиток), тобто на вході низькотемпературного ступеня ОНС_{НТ}.

В той же час збільшення теплового навантаження на низькотемпературний ступінь ОНС_{НТ}, від якого теплота відводиться градирнею системи оборотного охолодження в атмосферу, при підвищених температурах зовнішнього повітря викличе підвищення температури наддувної газоповітряної суміші на вході в циліндри ГПД понад допустиму (45...50 °С), що свою чергу спричинить перехід ГПД на часткові режими з падінням електричної потужності і зростанням витрат палива, що вкрай небажано. Оскільки УК не має обмежень по температурі теплоносія на вході, то саме до нього доцільно направляти зворотний неохолоджений теплоносій одразу від АБХМ з підвищеною температурою вище 70 °С, тоді як до інших вузлів – не вище 70 °С.

То ж були розроблені і досліджені багатопоточні системи з поверненням зворотного теплоносія до вузлів охолодження ГД з температурою не вище 70 °С, а до УК – з температурою вище 70 °С одразу від АБХМ.

Принципова схема системи одноступінчатої (в одній АБХМ) трансформації скидної теплоти вдосконаленого когенераційного модуля з підведенням до ГПД зворотного теплоносія двома потоками з різними температурами 70 і 75 °С наведена на рис. 8.

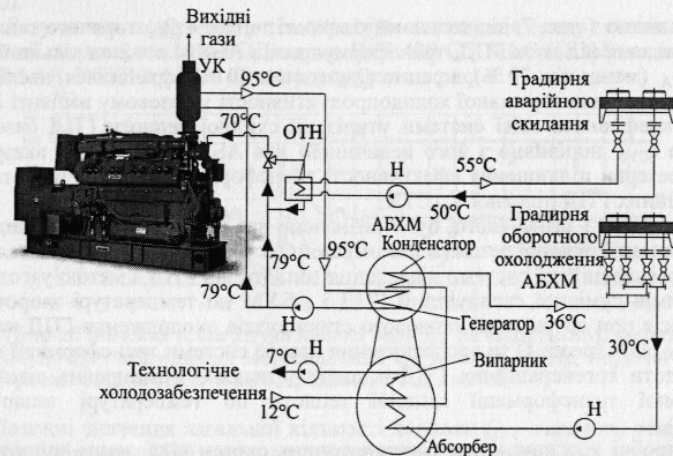


Рис. 8. Схема системи одноступінчатої трансформації скидної теплоти вдосконаленого когенераційного модуля з підведенням до ГПД зворотного теплоносія двома потоками з різними температурами 70 і 79 °С: УК – утилізаційний котел; ОТН – охолоджувач зворотного теплоносія; Н – насос

При підвищенні температури гарячого теплоносія $t_{г.вих}$ на виході з модифікованого таким чином когенераційного модуля ГПД до $t_{г.вих} = 95$ °С порівняно з її базовим значенням $t_{г.вих} = 90$ °С кількість теплоти, трансформованої в холод в АБХМ, не зростає: $Q_{г.А(95)} = Q_{г.А(90)}$, оскільки обмежена різницею температур теплоносія на вході та виході АБХМ не більше 10...15 °С, як і не зменшується кількість скидної теплоти, відведеної градирнею в атмосферу: $Q_{г.п(95)} = Q_{г.п(90)}$, оскільки частину зворотного теплоносія (30% загальної витрати) подають безпосередньо в УК, а решта теплоносія (70% загальної витрати), від якого відводять теплоту в атмосферу градирнею, має більш високу температуру $t_{г.п} = 79$ °С ніж у базовому варіанті $t_{г.п} = 75$ °С.

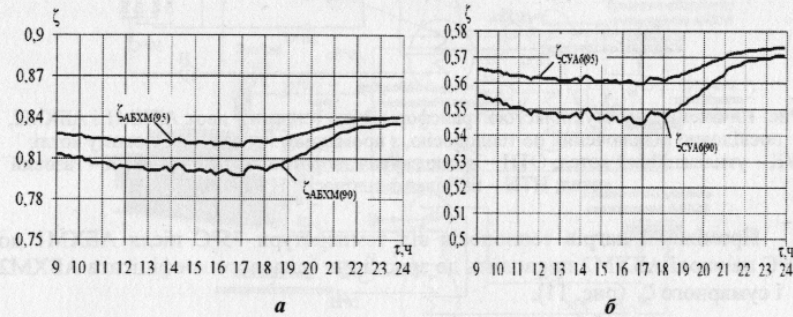


Рис. 9. Значення теплових коефіцієнтів базової системи утилізації скидної теплоти $\zeta_{СУА(90)}$ і вдосконаленої двопоточної $\zeta_{СУА(95)}$ когенераційних модулів ГПД (а), АБХМ обох варіантів $\zeta_{АБХМ(90)}$ і $\zeta_{АБХМ(95)}$ (б): $\zeta_{АБХМ(90)}$ – при $t_{г.вих} = 90$ °С ($t_{г.вх} = 70$ °С); $\zeta_{АБХМ(95)}$ – при $t_{г.вих} = 95$ °С ($t_{г.вхУК} = 79$ °С)

Проте підвищення температури теплоносія на вході в АБХМ від 90 °С до 95 °С веде до зростання теплового коефіцієнта АБХМ $\zeta_{АБХМ}$ на 15...20 % і системи утилізації теплоти $\zeta_{СУА}$ понад 2 %, а відтак і кількості холоду $Q_0 = \zeta_{г.А(95)}$, отриманого в АБХМ з тієї ж кількості теплоти $Q_{г.А(95)} = Q_{г.А(90)}$ (рис. 9).

Для підвищення холодопродуктивності вже діючої УАЕТХ можна задіяти бустерний газовий котел, який завжди є в установках автономного енергопостачання і використовується переважно в зимовий період (рис. 10).

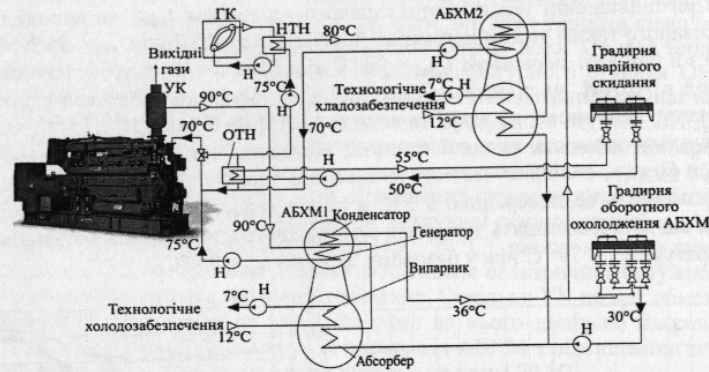


Рис. 10. Схема з двоступінчастою трансформацією теплоти у двох АБХМ1 і АБХМ2, послідовно підключених по теплоносію, з проміжним нагрівом у газовому котлі: УК – утилізаційний котел; ОТН – охолоджувач зворотного теплоносія; ГК – газовий котел; НТН – нагрівач теплоносія; Н – насос

Проміжний нагрів теплоносія від температури 75°C після АБХМ1 до 80°C на вході АБХМ2 приводить до зростання теплового коефіцієнта АБХМ2 ζ_2 і сумарного ζ_c (рис. 11).

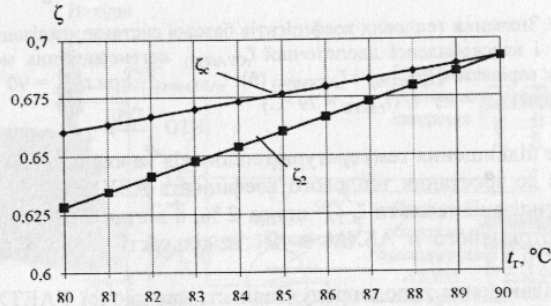


Рис. 11. Значення теплових коефіцієнтів ζ_2 АБХМ2 і сумарного ζ_c двох послідовно підключених АБХМ в залежності від температури гарячого теплоносія t_r на вході в АБХМ2 (для базової АБХМ1 $\zeta_{\text{АБХМ1}} = 0,8$ при $t_r = 90^\circ\text{C}$)

Як результат комбінування двох напрямів вдосконалення трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД УАЕТХ, а саме вдосконалення самої когенераційної системи відведення теплоти від ГПД і вдосконалення власне системи трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод у напрямі розширення діапазону ефективної трансформації скидної теплоти була запропонована схема двопоточної системи трансформації скидної теплоти ГПД з двома АБХМ, наведена на рис. 12.

Завдяки підвищеній температурі теплоносія на виході з УК ГПД $t_r = 95^\circ\text{C}$ (замість $t_r = 90^\circ\text{C}$ у базовому варіанті) його температура після АБХМ1, тобто на вході АБХМ2, також вище: $t_{r.A} = 79^\circ\text{C}$ (замість базової 75°C), що приводить до збільшення теплових коефіцієнтів АБХМ1 і АБХМ2. Поточні значення теплових коефіцієнтів АБХМ $\zeta_{\text{АБХМ}(90)}$ і системи трансформації скидної теплоти базового варіанта $\zeta_{\text{СУ6}}$, а також двопоточної з двома АБХМ $\zeta_{\text{СУ}(2\text{АБ } 2\text{пот.})}$ відповідно до зміни температури охолоджувальної води $t_{\text{ов}}$ конденсатора АБХМ, отриманої в градирні мокрого типу системи оборотного охолодження і близької до температури мокрого термометра, упродовж $9^{00} - 24^{00}$ (28.07.2011) наведені на рис. 13.

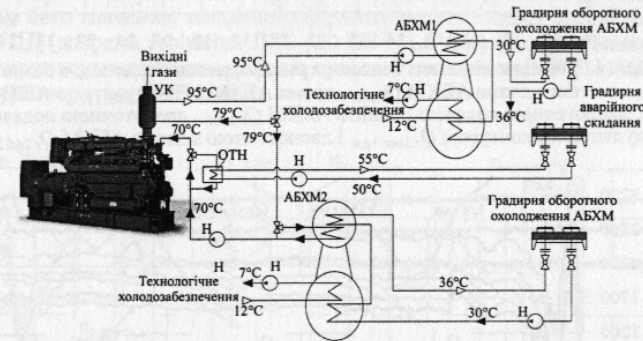


Рис. 12. Схема двопоточної системи трансформації скидної теплоти ГПД з двома АБХМ: УК – утилізаційний котел; ОТН – охолоджувач зворотного теплоносія; Н – насос

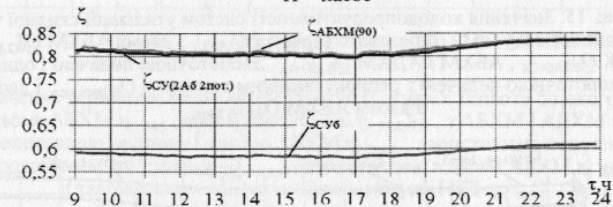


Рис. 13. Поточні значення теплових коефіцієнтів АБХМ $\zeta_{\text{АБХМ}(90)}$ і системи трансформації скидної теплоти базового варіанта $\zeta_{\text{СУ6}}$, двопоточної з двома АБХМ $\zeta_{\text{СУ}(2\text{АБ } 2\text{пот.})}$ відповідно до зміни температури охолоджувальної води $t_{\text{ов}}$ конденсатора АБХМ упродовж $9^{00} - 24^{00}$ (28.07.2011)

Як видно з рис. 13, тепловий коефіцієнт двопоточної системи утилізації з двома АБХМ $\zeta_{\text{СУ}(2\text{АБ } 2\text{пот.})}$ сягає максимальної величини – теплового коефіцієнта АБХМ $\zeta_{\text{СУ6}}$, відповідно зростає і холодопродуктивність системи з двома АБХМ.

Узагальнюючі графіки базової системи утилізації, системи з двома АБХМ, двома АБХМ і ГК, з АБХМ і АДХМ, двопоточною подачею і однією АБХМ, двопоточною подачею з рециркуляційним контуром і двопоточною з

двома АБХМ, розглянутих в дисертаційній роботі, для кількості теплоти, трансформованої в холод, холодопродуктивності та теплових коефіцієнтів, що свідчать про ефективність запропонованих систем, наведено на рис. 14–16.

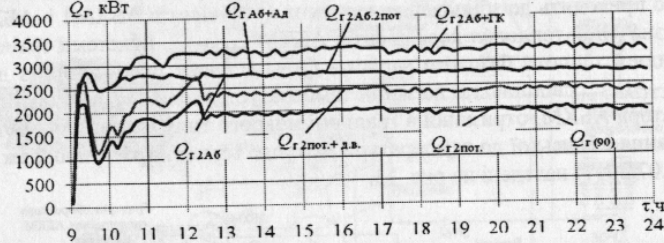


Рис. 14. Значення кількості теплоти, трансформованої в холод, в базовому варіанті $Q_{T(90)}$, системі з двома АБХМ $Q_{T(2AB)}$, двома АБХМ і ГК $Q_{T(2AB+GK)}$, з АБХМ і АДХМ $Q_{T(AB+AD)}$, двопоточною подачею і однією АБХМ $Q_{T(2pot.)}$, двопоточною подачею з рециркуляційним контуром $Q_{T(2pot.+d.v.)}$ і двопоточною з двома АБХМ $Q_{T(2AB.2pot.)}$.

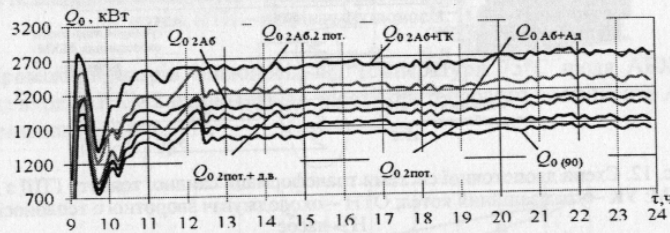


Рис. 15. Значення холодопродуктивності систем утилізації скидної теплоти когенераційних модулів ГПД базового варіанта $Q_{0(90)}$, з двома АБХМ $Q_{0(2AB)}$, двома АБХМ і ГК $Q_{0(2AB+GK)}$, АБХМ і АДХМ $Q_{0(AB+AD)}$, двопоточною подачею і однією АБХМ $Q_{0(2pot.)}$, двопоточною подачею з рециркуляційним контуром $Q_{0(2pot.+d.v.)}$ і двопоточною з двома АБХМ $Q_{0(2AB.2pot.)}$.

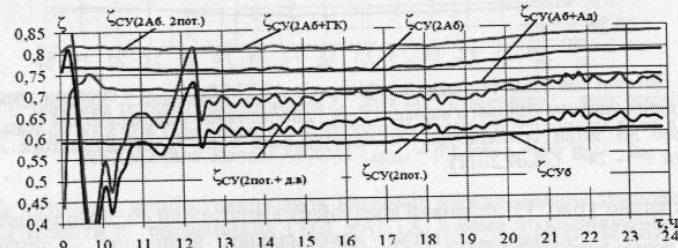


Рис. 16. Значення теплових коефіцієнтів систем утилізації скидної теплоти когенераційних модулів ГПД базового варіанта $ζ_{CV(90)}$, з двома АБХМ $ζ_{CV(2AB)}$, двома АБХМ і ГК $ζ_{CV(2AB+GK)}$, АБХМ і АДХМ $ζ_{CV(AB+AD)}$, двопоточною подачею і однією АБХМ $ζ_{CV(2pot.)}$, двопоточною подачею з рециркуляційним контуром $ζ_{CV(2pot.+d.v.)}$ і двопоточною з двома АБХМ $ζ_{CV(2AB.2pot.)}$.

Найбільш ефективною є система трансформації скидної теплоти з двома АБХМ і проміжним нагрівом у ГК (при цьому слід враховувати витрати палива на ГК) і двопоточною з двома АБХМ, найменш ефективна – двопоточною з однією АБХМ.

Ефективність розроблених систем трансформації скидної теплоти ГПД оцінювали також тепловим ККД $η_T$ – відношенням частки корисно використаної скидної теплоти Q_T , трансформованої в холод, до загальної її кількості $Q_{T.c.}$, отриманої при згорянні палива в ГПД J 420 GS потужністю 1400 кВт з урахуванням теплотворної здатності природного газу (рис. 17).

Для порівняння показано також графік термічного ККД $η_{T(90)}$ базової системи утилізації і теоретичного термічного ККД $η_{T(теор.)}$, тобто максимально можливого його значення, заявленого фірмами-розробниками когенераційних модулів ГПД (зокрема Jenbacher JMS 420 GS-N.LC GE) без врахування втрат теплоти через неузгодженість режимів сумісної експлуатації ГПД і АБХМ по температурі зворотного теплоносія.

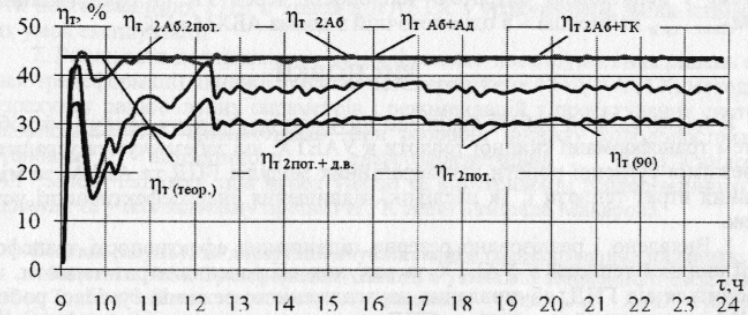


Рис. 17. Значення термічних ККД систем утилізації скидної теплоти базового варіанта $η_{T(90)}$, з двома АБХМ $η_{T(2AB)}$, двома АБХМ і ГК $η_{T(2AB+GK)}$, з АБХМ і АДХМ $η_{T(AB+AD)}$, з двопоточною подачею і однією АБХМ $η_{T(2pot.)}$, двопоточною подачею з рециркуляційним контуром $η_{T(2pot.+d.v.)}$ і двопоточною з двома АБХМ $η_{T(2AB.2pot.)}$, а також самого когенераційного модуля ГПД $η_{T(теор.)}$.

Розрахунок економічного ефекту виконано, виходячи з кількості палива, необхідного для виробництва електроенергії для парокompресорних холодильних машин (ПКХМ) з холодопродуктивністю, отриманою шляхом утилізації втраченої у базовому варіанті теплоти когенераційного ГПД. З урахуванням приросту холодопродуктивності розраховано кількість електроенергії, необхідної для ПКХМ відповідних потужностей, тобто скорочення її споживання в розроблених системах утилізації порівняно з базовою, та річна економія палива (рис. 18).

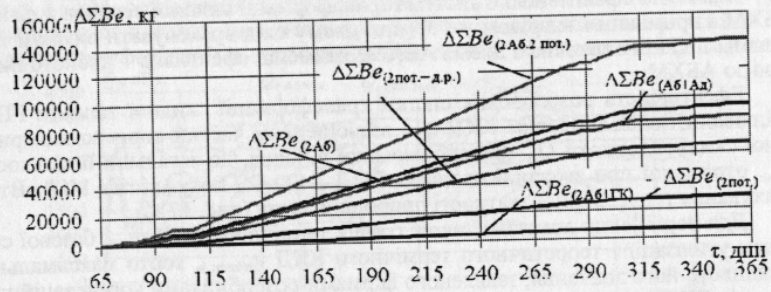


Рис. 18. Значення скорочення споживання палива $\Delta\Sigma Be$ для розроблених систем утилізації скидної теплоти

Як видно, найбільша річна економія палива досягається у двопоточній системі з додатковою витратою теплоносія через УК (з рециркуляцією) $\Delta\Sigma Be_{(2\text{пот.}+\text{д.р.})}$, найменша – в однопоточній з двома АБХМ і ГК.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу розробки систем трансформації скидної теплоти в УАЕТХ, які забезпечують узгодження режимів сумісної роботи когенераційних модулів ГПД та АБХМ за мінімальних втрат теплоти і, як наслідок, підвищення енергоефективності установок.

1. Виявлено і реалізовано резерви підвищення ефективності трансформації скидної теплоти в УАЕТХ за рахунок скорочення втрат теплоти, що відводиться від ГПД, обумовлених неузгодженістю режимів сумісної роботи АБХМ і когенераційного модуля ГПД через суперечливі умови їх ефективної експлуатації по температурі зворотного теплоносія на виході з АБХМ та на вході в систему охолодження когенераційного ГПД. За результатами моніторингу параметрів системи трансформації скидної теплоти в УАЕТХ виявлено втрати, які становлять близько 30 % теплоти, відведеної від ГПД.

2. Запропоновано і реалізовано принципово новий підхід до узгодження режимів сумісної роботи АБХМ і когенераційного модуля ГПД по температурі зворотного теплоносія у багатопотокових системах трансформації скидної теплоти ГПД в холод, який забезпечують підвищення термодинамічної ефективності трансформації скидної теплоти зі збільшенням теплового коефіцієнта $\zeta_{\text{су}}$ системи утилізації від 0,55 до 0,7.

3. Вперше запропоновано застосування теплового коефіцієнта $\zeta_{\text{су}}$ системи утилізації теплоти ГПД в холод в УАЕТХ як показника ефективності трансформації скидної теплоти когенераційного ГПД, який дозволяє виявити і реалізувати резерви підвищення її термодинамічної ефективності за рахунок скорочення втрат теплоти, що відводиться від ГПД.

4. Встановлено, що система трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод двома послідовно підключеними АБХМ і рециркуляцією теплоносія в котлі утилізаторі-економайзері на випускних газах ГПД забезпе-

чує скорочення втрат теплоти на 30 % і, як наслідок, збільшення теплового коефіцієнта $\zeta_{\text{су}}$ системи утилізації від 0,55 до 0,8, система трансформації теплоти з двома АБХМ – скорочення втрат теплоти на 30 % і збільшення $\zeta_{\text{су}}$ від 0,55 до 0,77, система трансформації теплоти у двох АБХМ з бустерним газовим котлом – скорочення втрат теплоти на 30 % і збільшення $\zeta_{\text{су}}$ від 0,55 до 0,8, система трансформації в АБХМ і адсорбційній холодильній машині – скорочення втрат теплоти на 30 % і збільшення $\zeta_{\text{су}}$ від 0,55 до 0,7.

5. Розроблено способи раціональної організації процесів трансформації теплоти в холод і схемні рішення систем трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в АБХМ з рециркуляцією зворотного теплоносія та визначено раціональні параметри процесів, що забезпечують зменшення втрат теплоти з 30...40% до 15...20% і відповідне зростання теплового коефіцієнта $\zeta_{\text{су}}$ системи трансформації теплоти в холод в УАЕТХ.

6. Розроблено уточнені фізичну та математичну моделі процесів трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод і програму розрахунку характеристик ефективності і параметрів системи трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод в УАЕТХ з урахуванням зміни кліматичних умов експлуатації.

7. Результати дослідження у вигляді схемно-конструктивних рішень системи трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД УАЕТХ, методики розрахунку раціональних параметрів і рекомендацій з проектування системи використані ТОВ "Хладотехніка" при розробці проекту холодопостачання установи автономного енергозабезпечення ТОВ "Сандора", ПАТ "Завод "Екватор" при проектуванні та виготовленні теплообмінного обладнання та у навчальному процесі НУК імені адмірала Макарова.

Основні результати дисертації опубліковані в спеціалізованих виданнях:

1. Радченко, А.М. Трансформація теплоти в установці автономного енергозабезпечення абсорбційною холодильною машиною [Текст] / А.М. Радченко, О.В. Остапенко // Холодильна техніка і технологія. – 2015. – № 51 (2). – С. 32–37. (наук.м.)

2. Радченко, А.М. Сумісна робота когенераційного газопоршневого двигуна та абсорбційного термотрансформатора установи автономного енергозабезпечення [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Коновалов, О.В. Остапенко // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2013. – № 5-6 (450). – С. 35–40. (фах.)

3. Радченко, А.М. Трансформація теплоти в установці автономного енергозабезпечення абсорбційною холодильною машиною [Текст] / А.М. Радченко, О.В. Остапенко // Збірник наукових праць НУК – 2015. – № 4 (460). – С. 12–16. (наук.м.)

4. Радченко, Р.М. Глибока утилізація теплоти тригенераційної установи автономного енергозабезпечення [Текст] / Р.М. Радченко, О.В. Остапенко, І.П. Єсін, Б.С. Портной // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 1(118). – С. 99–103. (наук.м.)

5. Радченко, А.Н. Ступенчатая трансформация сбросной теплоты газовых двигателей [Текст] / А.Н. Радченко, С.А. Кантор, А.В. Остапенко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2015. – № 1 (71). – С. 71-74. (наук.м.)

6. Радченко, Р.Н. Усовершенствованный когенерационный газопоршневой модуль тригенерационной установки автономного энергообеспечения [Текст] / Р.Н. Радченко, А.В. Остапенко, А.А. Лехмус // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 2(119). – С. 104–107 (наук.м.)

XV 1340
 ИНСТИТУТ ХОЛОДА
 ОНАХТ

7. Радченко, А.Н. Согласование работы абсорбционного термотрансформатора с когенерационным газопоршневым модулем установки автономного энергообеспечения [Текст] / Радченко А.Н., Коновалов А.В., Остапенко А.В., Манилов А.С. // Вестник двигателестроения. – 2012. – № 2. – С.65–69. (фак.)

8. Радченко, А.Н. Согласование работы когенерационного модуля газового двигателя и абсорбционного термотрансформатора [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов, А.В. Остапенко // Газотурбинные технологии: Рыбинск, Россия. – 2013. – № 4 (115). – С. 30–33.

Основні публікації, в яких додатково викладено зміст дисертації:

9. Остапенко, О.В. Підвищення ефективності газопоршневої установки автономного енергозабезпечення [Текст] / О.В. Остапенко // Всеукр. н.-т. конф. молодих вчених і студентів. Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології. – Одеса: ОНАХТ. – 2013.

10. Остапенко, О.В. Підвищення ефективності трансформації скидної теплоти газу поршневого двигуна в холод абсорбційним бромистолітєвим термотрансформатором [Текст] / О.В. Остапенко // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали V м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2014. – С. 312–315.

11. Остапенко, А.В. Двухступенчатая абсорбционно-эжектрная система трансформации сбросной теплоты газовых двигателей [Текст] / А.В. Остапенко // Эколого-энергетичні проблеми сучасності / Збірник наукових праць всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Одеса, 14 квітня 2015 р. – Одеса, ОНАХТ. – С. 196–198.

12. Остапенко, О.В. Утилізація теплоти в установці автономного енергозабезпечення абсорбційною бромисто-літєвою холодильною машиною [Текст] / О.В. Остапенко // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали VII м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2015. – Т.2. – С. 122–129.

13. Остапенко, О.В. Трансформація теплоти когенераційного газового двигуна абсорбційною холодильною машиною [Текст] / О.В. Остапенко // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VI м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2015. – С.236–238.

14. Остапенко, А.В. Сокращения потерь тепла системы трансформации теплоты в холод на базе ГПД путем использования двухпоточной системы утилизации с двумя АБХМ [Текст] / А.В. Остапенко // Муніципальна енергетика: проблеми, рішення: Матеріали 6 м.-н. н.-т. конф. Миколаїв: НУК, 2015.

15. Остапенко, А.В. Сокращение потерь тепла в системе трансформации теплоты с использованием двухступенчатой абсорбционно-адсорбционной холодильной машиной [Текст] / А.В. Остапенко // Проблеми екології та енергозбереження: Матеріали XI м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2016. – С. 124–126.

16. Радченко, А.Н. Условия совместной эксплуатации когенерационного газового двигателя и абсорбционного термотрансформатора [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов, А.В. Остапенко // Холод в енергетиці і на транспорті: сучасні проблеми кондиціонування та рефрижерасії: Матеріали II м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2013. Частина 1 – С. 298–305.

17. Радченко, А.Н. Анализ эффективности трансформации теплоты когенерационного газового двигателя в холод абсорбционным термотрансформатором [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов, А.В. Остапенко // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали IV м.-н. н.-т. конф. – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 243–246.

18. Радионов А.В. Повышение надежности градирен систем обратного охлаждения теплоиспользующих холодильных машин установок автономного энергоснабжения [Текст] / А.В. Радионов, Н.И. Радченко, А.В. Остапенко // Сучасні проблеми холодильної техніки і технології: Збірник тез доповідей IX м.-н. н.-т. конф. – Одеса: ОНАХТ, 2013. – С. 282–284.

19. Радченко, А.Н. Совместная работа абсорбционного термотрансформатора и когенерационного газопоршневого двигателя [Текст] / А.Н. Радченко, А.В. Коновалов, Н.И. Радченко, А.В. Остапенко // Суднова енергетика: Стан та проблеми: Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців. – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 40–44.

20. Радченко, А.М. Энергозберігаюча технологія отримання холоду в когенераційній газопоршневій установці [Текст] / А.М. Радченко, О.В. Остапенко // Проблеми екології та енергозбереження: Матеріали IX міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2014.

21. Радченко, А. Н. Повышение эффективности трансформации теплоты газового двигателя в холод двухступенчатой абсорбционно-адсорбционной холодильной машиной [Текст] / А. Н. Радченко, А.В. Остапенко // Сучасні проблеми холодильної техніки і технології: Збірник тез доповідей X м.-н. н.-т. конф. – Одеса: ОНАХТ, 2015. – С. 48–50.

Особистий внесок здобувача у праці, що опубліковані у співавторстві: [1, 3-5, 17, 18] – параметри процесів трансформації скидної теплоти в холод; [2, 7, 8, 16, 19, 20] – способи раціональної організації процесів трансформації; [6, 21] – схемні рішення систем

Умовні позначення, не наведені в тексті:

Температури: t_{w1} – гарячої води на вході в АБХМ, t_{w2} – води після АБХМ, t_{w3} – охолодженої зворотної води, $t_{zп}$ – зовнішнього повітря, t_x – холодоносія з АБХМ; G_T – витрата гарячого теплоносія; теплові коефіцієнти: ζ_{cy} – системи утилізації; ζ_A , $\zeta_{АБХМ}$ – АБХМ; ζ_p – розрахунковий (теоретичний); ζ_e – експериментальний (за даними фірми-виробників АБХМ); кількість теплоти (теплові потоки): $Q_{r,c}$ – сумарна отримана від ГПД; $Q_{r,A}$ – трансформована в холод в АБХМ; $Q_{r,b}$ – втрачена в градирен аварійного скидання; Q_0 – холодопродуктивність АБХМ; c – питома теплоємність теплоносія; ϕ – відносний вологовміст зовнішнього повітря.

Підстрочні індекси: 6, (90) – базова, пілотна; 2Аб – з двома АБХМ; 2Аб+ГК – з двома АБХМ і газовим котлом; Аб+Ад – з абсорбційною і адсорбційною холодильними машинами; 2пот – з двопоточною подачею і однією АБХМ; 2пот.+д.в – з двопоточною подачею і рециркуляційним контуром; 2Аб.2пот – з двопоточною подачею і двома АБХМ.

АНОТАЦІЯ

Остапенко О.В. Підвищення ефективності трансформації теплоти когенераційних газопоршневих модулів установок автономного електро-, тепло-, та холодозабезпечення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.14 – Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування. – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2016.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності трансформації скидної теплоти когенераційних газопоршневих модулів в холод в установках автономного електро-, тепло-, та холодозабезпечення (УАЕТХ) за рахунок скорочення теплових втрат, які становлять близько 30 % теплоти, відведеної від ГПД, і обумовлені неузгодженістю режимів сумісної роботи абсорбційної бромистолітєвої холодильної машини (АБХМ) і когенераційного модуля ГПД через суперечливі умови їх ефективної експлуатації по температурі зворотного теплоносія на виході з АБХМ та на вході в систему охолодження когенераційного ГПД.

Запропоновано і досліджено багатопотокові системи трансформації скидної теплоти ГПД в холод для УАЕТХ, які забезпечують узгодження режимів сумісної роботи АБХМ і когенераційних ГПД з мінімальними втратами теплоти, підвищення термодинамічної ефективності трансформації скидної теплоти зі збільшенням теплового коефіцієнта системи утилізації від 0,55 до 0,7.

Розроблено уточнені фізичну та математичну моделі процесів трансформації скидної теплоти когенераційних ГПД в холод з урахуванням втрат при трансформації теплоти і зміни кліматичних умов експлуатації.

Ключові слова: установка автономного електро-, тепло-, та холодозабезпечення, трансформація теплоти, абсорбційна бромистолітєва холодильна машина.

АННОТАЦИЯ

Остапенко А.В. Повышение эффективности трансформации теплоты когенерационных газопоршневых модулей установок автономного электро-, тепло- и холодообеспечения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.14 – Холодильная, вакуумная и компрессорная техника, системы кондиционирования. – Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2016.

Диссертация посвящена повышению эффективности трансформации сбросной теплоты когенерационных газопоршневых модулей в холод в установках автономного электро-, тепло- и холодообеспечения (УАЭТХ) за счет сокращения тепловых потерь, которые составляют около 30 % теплоты, отводимой от ГПД, и обусловлены несогласованностью режимов совместной работы абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин (АБХМ) и когенерационных газопоршневых модулей из-за противоречивых условий их эффективной эксплуатации по температуре обратного теплоносителя на выходе из АБХМ и на входе в систему охлаждения когенерационного ГПД.

Предложено и исследовано разнопоточные системы трансформации сбросной теплоты ГПД в холод для установок автономного энергообеспечения, которые обеспечивают согласование режимов эффективной работы АБХМ и когенерационных ГПД с минимальными потерями теплоты и, как следствие, повышение термодинамической эффективности трансформации сбросной теплоты с увеличением теплового коэффициента системы утилизации от 0,55 до 0,7.

Разработаны усовершенствованные физическая и математическая модели процессов трансформации сбросной теплоты когенерационных ГПД в холод с учетом потерь при трансформации теплоты и изменения климатических условий эксплуатации и подтверждена их адекватность данным мониторинга параметров процессов трансформации теплоты в установке автономного энергообеспечения и фирм-разработчиков АБХМ.

Разработаны способы рациональной организации процессов трансформации сбросной теплоты в холод и определены рациональные параметры процессов, обеспечивающие уменьшение потерь при трансформации теплоты в холод с 30...40% до 15...20%, соответствующее возрастание термического КПД когенерационных ГПД с 20% до 30% и общего КПД с 60% до 70%.

Ключевые слова: установка автономного электро-, тепло- и холодообеспечения, трансформация теплоты, абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина.

ABSTRACT

Ostapenko O. V. Increasing the efficiency of transformation of cogenerative reciprocating gas engine module heat in the systems of integrated electric-, heat- and cold supply. – Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of the candidate of technical sciences on speciality 05.05.14 – Refrigeration, Vacuum and Compression Engineering, Air Conditioning Systems.– Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2016

The dissertation is devoted to increasing the efficiency of transformation of waste heat of cogenerative reciprocating gas engine (RGE) module into cold in the systems of integrated electric-, heat- and cold supply (IEHCS) due to reducing waste heat by about 30% of heat extracted from RGE, caused by contradictory conditions of efficient joint performance of absorption lithium-bromide chiller (ALBC) and cogenerative RGE module on the temperatures of return heat fluid at the exit of ALBC and at the inlet of cooling system of cogenerative RGE.

There are proposed and investigated many flows systems of transformation of RGE waste heat into cold for IEHCS those provide correspondence of regimes of joint performance of ALBC and cogenerative RGE with minimum waste heat, improving thermodynamic efficiency of waste heat recovery with increasing the coefficient of performance of waste heat recovery system from 0.55 to 0.7.

The improved physical and mathematical models of the processes of transformation of RGE waste heat into cold with account of heat wasted during heat transformation and changes in climatic conditions of performance.

Key words: system of integrated electric-, heat- and cold supply, heat transformation, absorption lithium-bromide chiller.

Підписано до друку 26.08.2016 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times. Друк різнографічний.
Зам. № 5. Тираж 100 прим.

Надруковано ТОВ “Зовнішрекламсервіс”
65011, м.Одеса, вул. Успенська, 40.
тел.37-70-76,777-70-76