

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

ДОЛГАНОВ ЮРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 621.311

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ
КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ГАЗОПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВОК З
ТЕРМОСИФОННИМИ КОТЛАМИ-УТИЛІЗАТОРАМИ**

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеню
кандидата технічних наук

Миколаїв - 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті кораблебудування ім. адм. Макарова Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник — кандидат технічних наук, доцент
Єпіфанов Олександр Анатолійович,
Національний університет кораблебудування ім.
адм. Макарова Міністерства освіти і науки
України,
доцент кафедри технічної теплофізики та
суднових паровиробних установок.

Офіційні опоненти: — доктор технічних наук, професор
Голіков Володимир Антонович,
Одеська національна морська академія
Міністерства освіти і науки України,
проректор з наукової роботи.

— кандидат технічних наук,
Чобенко Володимир Миколайович,
ДП НПКГ «Зоря»-«Машпроект»
заступник генерального конструктора,
начальник конструкторського відділення.

Захист відбудеться “ ____ ” _____ 2015 року о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д38.060.01 при Національному університеті кораблебудування ім. адм. Макарова Міністерства освіти і науки України за адресою: ауд. 360, пр. Героїв Сталінграду 9, м. Миколаїв , 54025.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова Міністерства освіти і науки України за адресою: пр. Героїв Сталінграду 9, м. Миколаїв , 54025.

Автореферат розісланий “ ____ ” _____ 2015 року

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



А.П. Шевцов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність дослідження. Розвиток енергетики на базі газотурбінних та газопаротурбінних технологій забезпечує підвищення ефективності теплових електростанцій і зниження їх негативного впливу на навколишнє середовище. На фоні загальносвітової тенденції децентралізації енергетичних систем перспективними для впровадження у вітчизняну енергетику можуть стати когенераційні газопаротурбінні установки на базі ГТД потужністю від 2 до 10 МВт.

Важливим елементом теплоутилізаційного контуру (ТУК) когенераційної газопаротурбінної установки (ГПТУ) є котел-утилізатор (КУ). Вибір та обґрунтування типу котла-утилізатора для кожної конкретної установки пов'язаний з рядом труднощів. Використання змійовикових поверхонь нагріву і застосування примусової циркуляції в випарному контурі КУ вертикального компоновання, з одного боку, збільшує компактність ТУК, а з іншого - знижує надійність роботи через відмови змійовиків, що спричиняє зниження електричної та теплової потужності установки. КУ горизонтальної компоновки з природною циркуляцією у випарному контурі мають більшу металоємність, а також більший аеродинамічний опір при рівних умовах проектування та експлуатації, що призводить до зменшення потужності газотурбінного двигуна та установки в цілому. Використання термосифонних поверхонь нагріву з природною циркуляцією в горизонтальних КУ забезпечить підвищення експлуатаційної ефективності та надійності роботи ТУК і установки в цілому. Утилізація теплоти теплообмінними апаратами на базі двохфазних термосифонів досліджується провідними навчальними закладами, академічними інститутами та організаціями: ІТТФ НАНУ, НТУУ «КПІ» (Київ), СевНТУ (Севастополь), ОНМА, ОНМУ (Одеса), НУК (Миколаїв), ІТМО НАНБ, ГГТУ (Білорусь) а також проектними організаціями та виробниками теплообмінного устаткування ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект» (Миколаїв), НВО ЦКТИ (Санкт-Петербург, Росія), Alfa-Laval (Швеція). Однак відсутність теоретичних знань і експериментальних даних щодо особливостей застосування термосифонних КУ у складі когенераційних ГПТУ виключає можливість розробки практичних рекомендацій з їх впровадження, а існуючі на сьогодні методи розрахунку термосифонних КУ не враховують внутрішній температурний перепад в термосифонах та швидкості природної циркуляції у випарному контурі котла, що призводить до завищення значень коефіцієнтів теплопередачі та теплової потужності КУ. Тому запропонована робота, яка спрямована на отримання нових знань щодо особливостей застосування термосифонних КУ у складі когенераційних ГПТУ та підвищення ефективності утилізації теплоти в таких установках, є **актуальною** на сьогодні та становить **практичний інтерес**.

Метою наукового дослідження є підвищення ефективності утилізації теплоти відхідних газів когенераційних газопаротурбінних установок з термосифонними котлами-утилізаторами за рахунок збільшення теплової потужності поверхонь нагріву.

Основні задачі наукового дослідження:

1. Провести аналіз компоновальних рішень теплоутилізаційних контурів когенераційних газопаротурбінних установок для визначення перспективних варіантів з метою використання в їх складі термосифонних КУ;

2. Удосконалити математичну модель для розрахунку параметрів теплоутилізаційних контурів когенераційних газопаротурбінних установок з термосифонними КУ;

3. Провести експериментальне дослідження внутрішнього температурного перепаду двофазних гравітаційних термосифонів в діапазоні теплових навантажень від $0,5 \text{ кВт/м}^2$ до 17 кВт/м^2 для уточнення значень коефіцієнтів теплопередачі в поверхнях нагріву секційного термосифонного КУ;

4. Визначити вплив внутрішнього температурного перепаду термосифонів на значення коефіцієнтів теплопередачі, показники теплової та електричної потужності установки;

5. Порівняти розроблений секційний термосифонний КУ з КУ інших типів у складі ТУК за впливом на ефективність використання утилізованої теплоти когенераційних газопаротурбінних установок;

6. Розробити рекомендації з використання секційних термосифонних КУ в складі ТУК когенераційних установок на базі ГТД потужністю від 2 до 10 МВт для підвищення ефективності утилізації теплоти відхідних газів.

Об'єкт дослідження – процеси утилізації теплоти, які проходять в системах і елементах теплоутилізаційних контурів газопаротурбінних установок.

Предмет дослідження – параметри та характеристики процесів утилізації теплоти в системах і елементах термосифонних котлів-утилізаторів у складі теплоутилізаційних контурів когенераційних газопаротурбінних установок.

Методи дослідження. В основі дисертаційної роботи покладені традиційні методи системних досліджень складних технічних систем, якими є теплоутилізаційні контури когенераційних енергетичних установок, а саме:

- метод співставлення використовувався при порівнянні схемних рішень ТУК і визначення перспективних варіантів з метою використання в їх складі термосифонних КУ;

- метод фізичного моделювання (експериментального дослідження) використовувався в роботі при експериментальних дослідженнях внутрішнього температурного перепаду двофазних гравітаційних термосифонів;

- метод математичного моделювання використовувався при розробці математичної моделі для розрахунку та аналізу параметрів ТУК когенераційних ГПТУ і проведенні порівняння термосифонних КУ з КУ інших типів у складі ТУК, за впливом на ефективність використання утилізованої теплоти;

- загальний логіко-імовірнісний метод використовувався для порівняння секційних термосифонних котлів-утилізаторів з котлами-утилізаторами інших типів по критеріям надійності і ремонтпридатності.

Наукова новизна отриманих результатів.

вперше встановлено, що підвищення на 6 % теплової потужності термосифонних секційних котлів-утилізаторів у складі ТУК когенераційних установок на базі ГТД потужністю від 2 до 10 МВт за рахунок застосування більш розвинених поверхонь нагріву забезпечує зменшення питомої витрати палива установки до 4 %;

вперше експериментальним шляхом отримана залежність внутрішнього температурного перепаду термосифонів $\Delta t_{\text{тс}}$ від густини теплового потоку $q_{\text{тс}}$ в діапазоні $0,5 \leq q_{\text{тс}} < 17 \text{ кВт/м}^2$, відносних довжин термосифона $42 < l/d < 53$ та з використанням води як проміжного теплоносія;

вдосконалені фізична і математична моделі для розрахунку та аналізу параметрів ТУК когенераційних газопаротурбінних установок, які відрізняються від відомих тим, що враховують особливості теплового розрахунку секційних термосифонних котлів-утилізаторів, а саме визначення внутрішнього температурного перепаду термосифонів та швидкості природної циркуляції у випарному контурі;

отримав подальший розвиток метод теплового розрахунку термосифонних секційних котлів-утилізаторів, заснований на послідовному розрахунку температури насичення і теплової потужності кожної секції, який на відміну від існуючих враховує коефіцієнти теплопередачі в зонах кипіння та конденсації термосифонів.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Створений розрахунковий комплекс на базі математичної моделі дозволяє проводити розрахунки термосифонних секційних КУ в складі ТУК когенераційних ГПТУ;

2. Вдосконалений метод теплового розрахунку термосифонних секційних КУ використовується ТОВ «Чорноморська лізінгова компанія» при розробці теплообмінних апаратів технологічних комплексів для переробки органічної частини твердих побутових відходів енергозберігаючими методами двостадійної газифікації та багатоконтурного циркуляційного піролізу МЦП-10 Ч та МЦП-24 Ч. Відповідний акт приведено у додатку дисертаційної роботи.

3. Вдосконалена математична модель реалізована у вигляді програмного забезпечення з відкритим текстом для вибору оптимального тиску і температури перегріву пари в паровій частини ТУК когенераційних установок на базі ГТД потужністю від 2 до 10 МВт була використана в ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект». Відповідний акт приведено у додатку дисертаційної роботи.

4. Метод розрахунку термосифонного секційного КУ, а також експериментальний стенд для дослідження внутрішніх процесів в термосифонах, використовуються в навчальному процесі кафедри ТТ і СПУ НУК при виконанні магістерських, дипломних проєктів та курсових робіт за спеціальностями 8.090510 «Теплоенергетика» 8.051201 «СЕУ та У». Відповідний акт приведено у додатку дисертаційної роботи.

Достовірність отриманих в роботі результатів та висновків забезпечується використанням сучасних розрахункових та експериментальних засобів та методів. Адекватність математичної моделі перевірялась по відповідності

паропродуктивності і теплової потужності КУ для установок на базі двигунів ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект», розрахованих за допомогою математичної моделі і приведених в каталогах підприємства. Достовірність експериментальних даних забезпечувалась використанням сучасних вимірювальних комплексів та високою точністю вимірювальних приладів (максимальна похибка по експериментальним результатам не перевищувала 5.7 %); на всі використовувані прилади було отримано акт метрологічної повірки.

Особистий внесок здобувача при отриманні наукових результатів полягає в проведенні огляду та аналізу літературних джерел по проблемам утилізації теплоти когенераційних газопаротурбінних установок, в удосконаленні математичної моделі для розрахунку та аналізу параметрів ТУК когенераційних ГПТУ при різних умовах експлуатації на ЕОМ, порівнянні КУ різних типів та конструкцій у складі ТУК когенераційних ГПТУ, вдосконаленні методу теплового розрахунку секційного термосифонного КУ для використання його у складі ТУК, в проведенні експериментальних досліджень внутрішніх процесів двофазних гравітаційних термосифонів та аналізі результатів. На основі розробок автора створено розрахунковий комплекс, що дозволяє проводити розрахунки теплоутилізаційних контурів когенераційних ГПТУ з термосифонними КУ.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень і окремі розділи дисертації неодноразово доповідалися й обговорювалися на семінарах та засіданнях кафедри ТТ і СПУ НУК, на наступних конференціях:

- VI міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» 27.05.2011 - 28.05.2011 (НУК, м. Миколаїв);
- V міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми» 10.11.2011 - 11.11.2011 (НУК, м. Миколаїв);
- IV Міжнародна науково-технічна конференція «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення» 20.12.2011 - 21.12.2011 (НУК, м. Миколаїв);
- VII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» 08.06.2012 - 12.06.2012 (НУК, м. Миколаїв);
- VIII міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження». – Миколаїв, НУК, 20-22 вересня 2013 р.
- IV міжнародна науково-технічна конференція «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв, НУК, 9-11 жовтня 2013 р.
- V міжнародна науково-технічна конференція «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв, НУК, 8-10 жовтня 2014 р.

Публікації. Основні результати дослідження опубліковані у 5 наукових статтях у спеціалізованих наукових виданнях по технічним наукам, які відповідають умовам ДАК України, 2 з них видані закордоном у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз; 7 тез доповідей у збірниках міжнародних технічних конференцій; отримано 2 патенти України на корисну модель. Список публікацій приведений наприкінці автореферату.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, основного тексту на 141 стор., списку використаної літератури, який включає 120 найменувань і 5 додатків. Робота містить 82 рисунка і 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми роботи; сформульовані мета і задачі дослідження; показана наукова новизна отриманих результатів і їхнє практичне значення.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу існуючих схемних рішень теплоутилізаційних контурів газотурбінних двигунів. Розглянуто перспективи використання термосифонних котлів-утилізаторів в складі ТУК когенераційних ГПТУ. На базі розроблених на кафедрі ТТ і СПУ НУК ім. адм. Макарова секційних термосифонних котлів-утилізаторів (рис. 1) запропоновано схемні рішення ТУК когенераційних ГПТУ і представлені варіанти використання в них термосифонних котлів-утилізаторів (рис. 2 а, б).

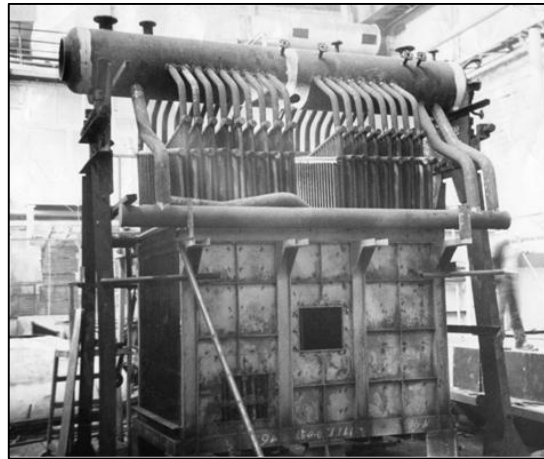
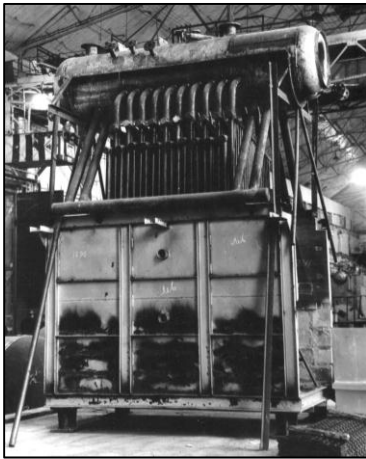
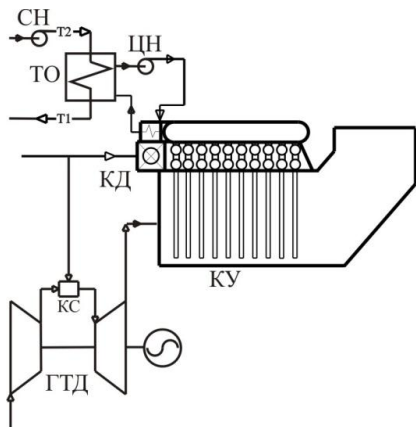
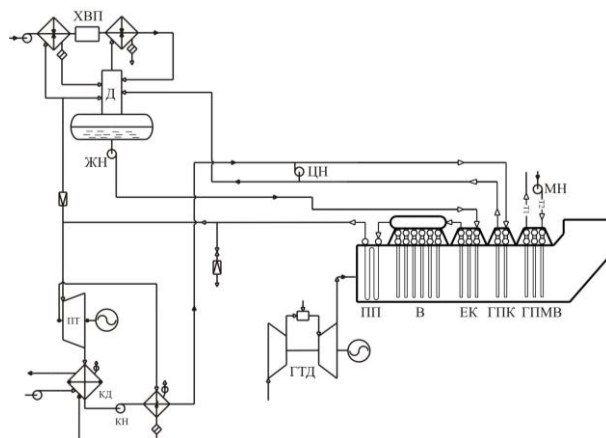


Рис.1 Загальний вид секційних термосифонних котлів-утилізаторів



а)



б)

Рис. 2. Теплові схеми: а) - когенераційної установки простого циклу з термосифонним КУ і додатковою камерою догоряння; б) - когенераційної ГПТУ з термосифонним КУ одного тиску обладнаним ГТДМВ.

На базі проведеного аналізу для ГТД потужністю від 2 до 10 МВт з температурами відхідних газів до 490°C обираємо теплову схему ТУК з одноконтурним КУ, обладнаним ГПМВ (рис.2б), яка дозволяє забезпечити високі значення електричного ККД (40-47 %) і коефіцієнта використання теплоти палива (50-60 %) без значного ускладнення теплової схеми.

Другий розділ роботи присвячений вибору загальної методики та основних методів дослідження.

Виходячи з поставлених задач обґрунтовані основні методи та розроблена схема процесу наукового дослідження. Зазначені основні принципи математичних та фізичних досліджень. Розроблена методика проведення експериментального дослідження внутрішнього температурного перепаду двохфазних термосифонів та експериментальний стенд на базі лабораторії «Теплофізичних досліджень» кафедри ТТ і СПУ НУК (рис.3). Максимальне значення похибки в дослідах не перевищувало 5,7 %.

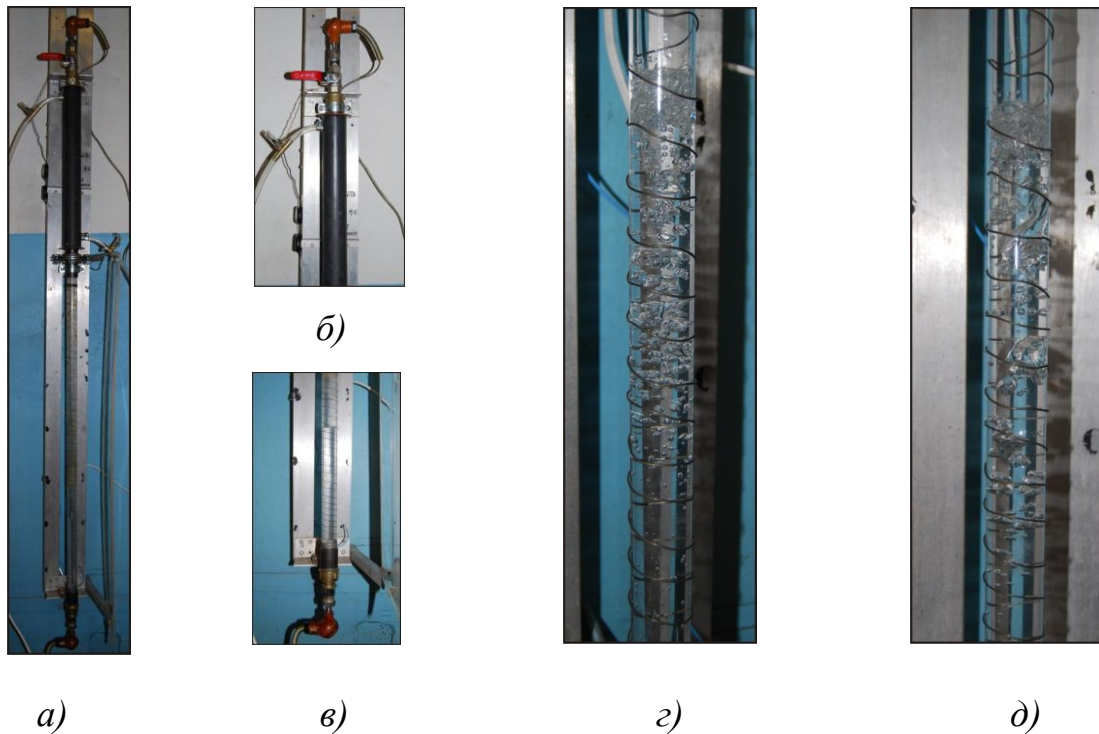


Рис.3 Експериментальна установка для дослідження внутрішніх процесів у термосифонах: а) загальний вид експериментального термосифону; б) верх зони конденсації; в) низ зони випаровування; рівень теплоносія; г) візуалізація процесів безпульсаційного режиму кипіння в термосифоні; д) візуалізація процесів пульсаційного режиму кипіння в термосифоні.

Третій розділ роботи присвячений розрахункам параметрів теплоутилізаційних контурів когенераційних ГПТУ з секційними термосифонними КУ при різних умовах експлуатації. Вдосконалена математична модель розрахунку теплової схеми ТУК з термосифонними секційними КУ складається з чотирьох основних блоків: розрахунок теплової схеми, визначення оптимальних параметрів

Особливістю розрахунку котла-утилізатора в прийнятих теплових схемах когенераційних ГПТУ, є необхідність розв'язання системи, яка складається з п'яти рівнянь теплового балансу на заданому діапазоні тиску та температури перегріву (i, j – крок ітерацій):

$$j = 0..10; P_{\text{пе},j} = 10^6 + \frac{1}{2}10^6 \times j; i = 0..5; \Theta_{\text{в},i} = 10 + \frac{1}{2} \times i$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{пп } j,i} = D_{\text{кпт } j,i}(h_{\text{пе } j} - h_{\text{вл.п.в } j}) \\ Q_{\text{в } j,i} = D_{\text{ку } j,i}(h_{\text{пе } i} - h_{\text{з.ек } j}) - Q_{\text{пп } j,i} \\ Q_{\text{ек } j,i} = (1 - 0,01p_{\text{пр}})D_{\text{ку } j,i}(h_{\text{з.ек } j} - h_{\text{ж.в.в } j}) \\ Q_{\text{гпк } j,i} = G_{\text{гпк } j,i}(h_{\text{к.вих.гпк}} - h_{\text{к.вх.гпк}}) \\ Q_{\text{гпмв } j,i} = \varphi G_{\text{вхку}}(c_{p,j,i}^{\text{з.гпк}} t_{\text{з.гпк } j,i} - c_p^{\text{з.гпмв}} t_{\text{з.гпмв}}) \\ Q_{\text{ку } j,i} = Q_{\text{пп } j,i} + Q_{\text{в } j,i} + Q_{\text{ек } j,i} + Q_{\text{гпк } j,i} + Q_{\text{гпмв } j,i} \end{array} \right. \quad (1)$$

Теплова схема когенераційної ГПТУ з термосифонним секційним КУ з параметрами отриманими в результаті моделювання наведена на рис. 4. Особливість схеми – використання теплоти газів ГТУ, крім генерації пари, для нагрівання мережної води системи тепlopостачання та конденсату відпрацьованої пари парової турбіни.

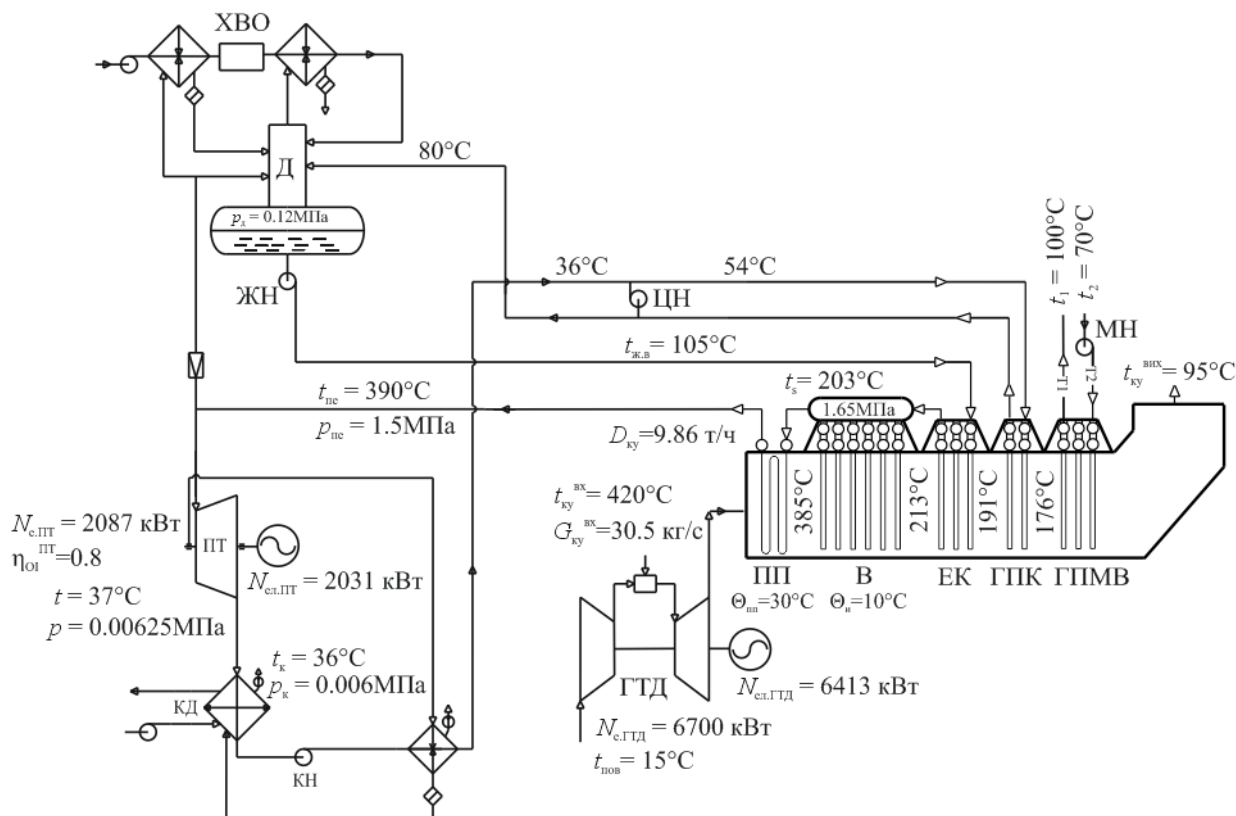


Рис.4 Розрахункова теплова схема когенераційної ГПТУ з термосифонним секційним КУ

Метою оптимізації параметрів робочого тіла ТУК є досягнення максимального електричного ККД ГПТУ при заданій тепловій потужності. Вибрані параметри оптимізації $P_{пе}$, $t_{пе}$ впливають на потужність парової турбіни $N_{ел}^{пт}$ (рис. 5в), яка поперед усе визначається паропродуктивністю КУ $D_{ку}$ (рис. 5а) та значенням адіабатного теплоперепаду H_a (рис. 5б).

$$N_{ел}^{пт} = H_a D_{ку} \eta_{ое} \quad (2)$$

В загальному випадку існування максимуму електричного ККД установки записується наступним чином:

$$\frac{\partial N_{ел}^{пт}}{\partial S} = H_a \frac{\partial D_{ку}}{\partial S} + D_{ку} \frac{\partial H_a}{\partial S} = 0; \quad \frac{\partial D_{ку}}{\partial S} = - \frac{\partial H_a}{H_a}; \quad (3)$$

Рациональні параметри пари приймаються з умови максимальних електричного ККД (рис.5д), потужності ПТ при допустимому ступені сухості 0.92...0.93 (рис. 5з) та з урахуванням коефіцієнту використання теплоти палива (рис. 5е).

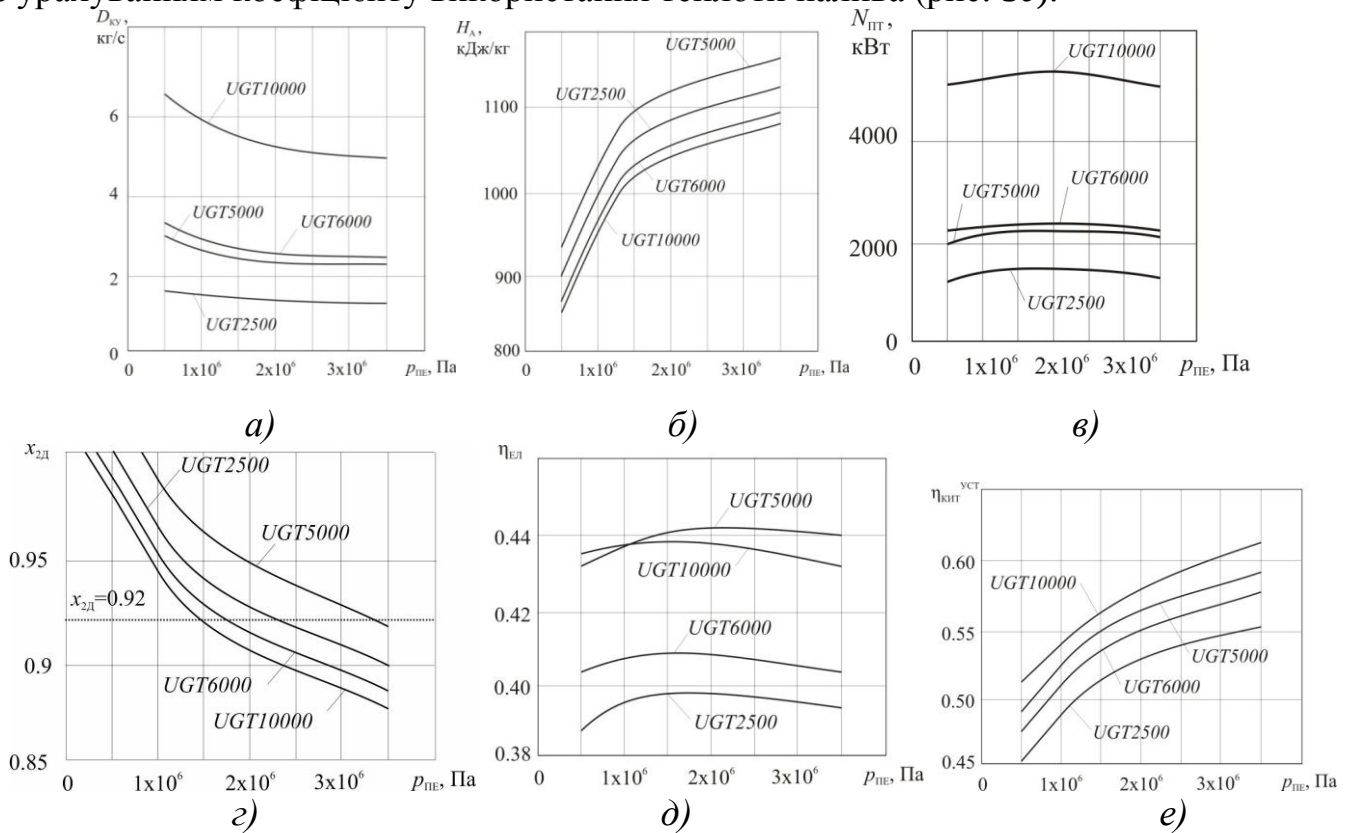


Рис.5 Залежність показників електричної та теплової економічності від тиску пари: а) паропродуктивності КУ; б) адіабатного перепаду в ПТ; в) потужності ПТ; г) ступені сухості пари після розширення в ПТ; д) ККД виробництва електроенергії установки; е) коефіцієнт використання теплоти палива установки.

Ще одним важливим параметром, що впливає на термодинамічну ефективність когенераційної газопаротурбінної установки, є температура перегрітої пари. Для теплової схеми, що досліджується, температура перегрітої пари визначається температурою відхідних газів ГТД та температурним напором в пароперегрівнику. Результати розрахунків показують, що зростання температури пари при оптимальному тиску призводить до збільшення електричної потужності установки,

при чому оптимальний тиск незначно зменшується. Загальна постановка буде мати наступний вигляд:

$$f(P_{\text{пе}}, t_{\text{пе}}, x_{2\text{Д}}) \rightarrow \text{extr} (\eta_{\text{ел}} \in Q); T_{\text{пе}} = f(P_{\text{пе}}, \eta_{\text{т}}, x_{2\text{Д}}); \quad (4)$$

Важливим фактором, що впливає на роботу когенераційних ГПТУ, є температура зовнішнього повітря. Дослідження впливу температури навколишнього повітря на ефективність роботи ТУК проводилось на прикладі когенераційної ГПТУ з двигуном UGT 6000 у діапазоні температур зовнішнього повітря від -35 до +45 °С. Результати розрахунків показали, що у вказаному діапазоні зміни температури навколишнього повітря, теплова потужність підігрівника мережної води знаходиться в діапазоні 2000...3200 кВт, а сумарна електрична потужність установки 6500...9500 кВт.

Адекватність математичної моделі теплоутилізаційного контуру когенераційної ГПТУ, перевіряли за відповідністю визначеного раціонального тиску пари, паропродуктивності і теплової потужності КУ для установок на базі двигунів ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект» розрахованих за допомогою математичної моделі і приведених в каталогах підприємства. Дані отримані за допомогою математичної моделі задовільно узгоджуються з даними каталогів: розбіжність не перевищує 3%.

Четвертий розділ дисертації присвячений вдосконаленню конструкції та методу теплового розрахунку секційного термосифонного КУ для використання у складі когенераційних ГПТУ. Розроблено конструкцію котла-утилізатора, поверхні нагріву якого виконані з двофазних гравітаційних термосифонів об'єднаних в уніфіковані секції. Поперечний та поздовжній переріз котла-утилізатора представлено на рис. 6.

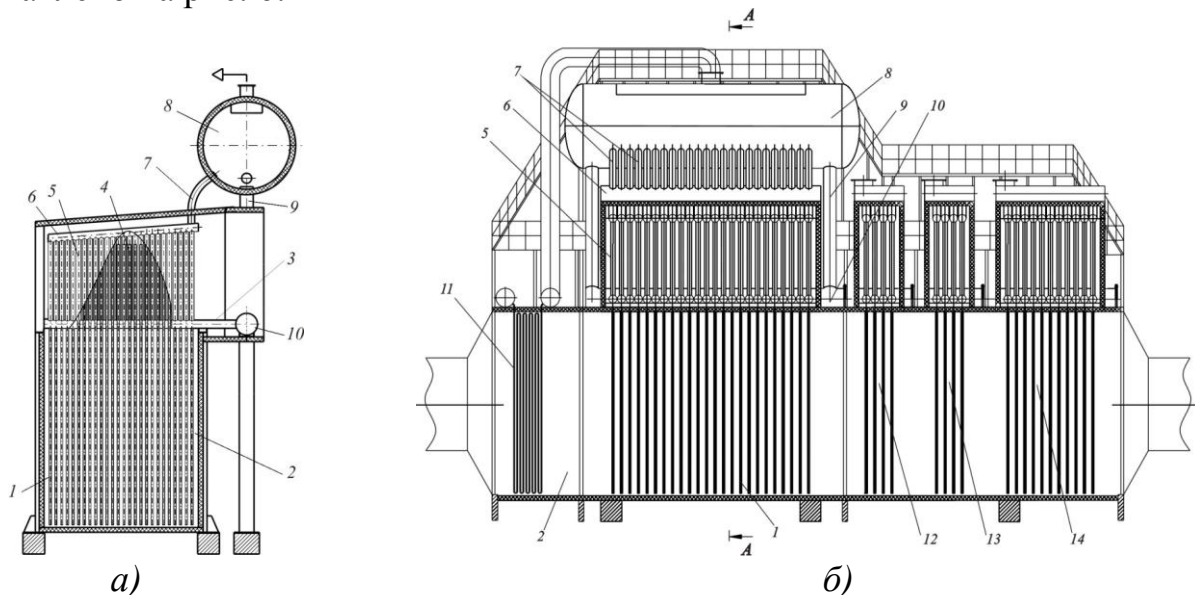


Рис. 6 Термосифонний секційний котел-утилізатор: а) поперечний переріз; б) поздовжній переріз; 1 – зона кипіння термосифонів; 2 – газохід; 3 – роздавальні колектори; 4 – зона конденсації термосифонів; 5 – вертикальні труби; 6 – збиральні колектори; 7 – паровідвідні труби; 8 – пароводяний барабан; 9 – опускні труби; 10 – водяний колектор; 11 – змішувальний пароперегрівник; 12 – термосифонний економайзер; 13 – термосифонний ГПК; 14 – термосифонний ГПМВ.

Конструкція котла-утилізатора захищена патентом України на корисну модель. Котел-утилізатор барабанного типу, з горизонтальним компонуванням випарного контуру у якому реалізовано природну циркуляцію. По ходу газів послідовно розташовані: пароперегрівник, випарник, економайзер, газовий підігрівник конденсату, підігрівник мережної води. Горизонтальна компоновка випарної поверхні нагріву, що виконана з двофазних гравітаційних термосифонів, дозволяє організувати природну циркуляцію та відмовитися від встановлення додаткового циркуляційного насосу.

В існуючих методах розрахунку термосифонних теплообмінних апаратів одним із припущень є нехтування внутрішнім температурним перепадом термосифонів та прийняття за рекомендаціями коефіцієнтів теплопередачі в зоні конденсації. Для удосконалення методу розрахунку отримано експериментальні дані щодо внутрішнього температурного перепаду в термосифонах в поверхнях нагріву котла-утилізатора за ГТД потужністю до 10 МВт, що працюють в діапазоні теплових навантажень до 17 кВт/м². Результати досліджень представлені на рис.7 у вигляді залежності температурного перепаду в порожнині термосифону від густини теплового потоку, що передає термосифон.

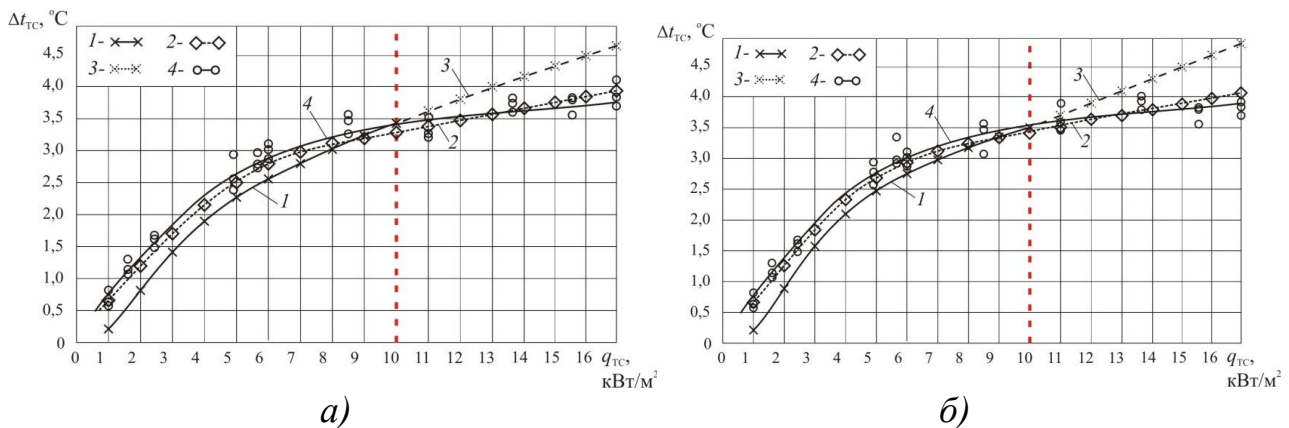


Рис.7 Залежність температурного перепаду в порожнині термосифона від густини теплового потоку: а) $l_{TC} = 1.2$ м; б) $l_{TC} = 1.5$ м; 1 - результати розрахунків при $q_{TC} < 10$ кВт/м², 2 - результати розрахунків за отриманою формулою 5; 3 - результати розрахунків при $10 < q_{TC} < 17$ кВт/м²; 4 - результати експерименту;

На основі проведеного фізичного моделювання внутрішніх процесів в термосифонах була отримана залежність для розрахунку внутрішнього температурного перепаду в порожнині термосифонів. Використовуючи основні параметри та враховуючи ступені їх впливу на внутрішній перепад температури, вводячи коефіцієнти залежності температури від тиску в даному діапазоні теплових навантажень, отримана наступна залежність:

$$\begin{cases} \Delta p_{TC} = \frac{(\xi_{TP} + \xi_{YCK}) \omega^2}{2v''} \\ \omega = \frac{G'' v''}{F} \\ G'' = \frac{Q_{TC}}{r} \end{cases} \quad \Delta t_{TC} = \frac{q_{TC}^{1.13} \left(\frac{\lambda_{TP} t_{S.TC}}{d_{TC}} + \xi_{YCK} \right)}{2r} \quad (5)$$

Границі використання отриманої залежності: $0,5 < q_{\text{тс}} < 17 \text{ кВт/м}^2$; проміжний теплоносієй – вода; відносна довжина термосифона $42 < l/d_{\text{тс}} < 53$.

Внутрішній температурний перепад термосифонів враховується при визначенні температурного напору та теплової потужності секцій КУ, він додається до температури насичення у термосифоні, тим самим зменшуючи загальну теплову потужність секцій. Тобто метод теплового розрахунку до внесення в нього внутрішнього температурного перепаду термосифону давав завищені значення коефіцієнтів теплопередачі, корисної теплової потужності котла $Q_{\text{кор}}^{\text{ку}}$ та електричної потужності парової турбіни $N_{\text{ел}}^{\text{пт}}$.

У п'ятому розділі викладені результати порівняння секційних термосифонних КУ з КУ інших типів по масогабаритним показникам та по впливу на ефективність утилізації теплоти когенераційних ГПТУ. Для порівняння вибрані наступні типи КУ, які використовуються в складі ТУК когенераційних ГПТУ: вертикальний змійовиковий з примусовою циркуляцією, горизонтально-вертикальний з природною циркуляцією, термосифонний з природною циркуляцією. На основі розробленої математичної моделі та програмного комплексу, що її реалізує на ЕОМ, були вибрані оптимальні початкові дані а також проведений тепловий розрахунок обраних типів котлів-утилізаторів.

Порівняння по масогабаритним показникам проведено за наступними критеріями: питома паропродуктивність, питомий парозйом випарної поверхні, питома площа поверхонь нагріву, питома металоємність котла-утилізатора. Результати показали, що використання термосифонного КУ збільшує масогабаритні показники в межах до 17 %.

Конструктивні особливості розглянутих типів поверхонь нагріву такі, що водотрубні поверхні можна представити як систему з послідовним, а термосифонну як з паралельним з'єднанням елементів.

В системі з послідовним з'єднанням елементів відказ одного елемента (змійовика) призводить до відказу системи в цілому. Приймається, що кожен елемент має експоненціальне розподілення імовірності безвідмовної роботи з інтенсивністю відмови λ_i , а імовірність безвідмовної роботи системи дорівнює:

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}, \quad (6)$$

де n – число елементів системи, λ_i - інтенсивність відказу, год^{-1} .

В системі з паралельним з'єднанням елементів (термосифонів) система працездатна доки хоча б один з елементів працює. Кожен елемент має експоненціальне розподілення часу безвідмовної роботи з інтенсивністю відмови λ_i , а імовірність безвідмовної роботи системи дорівнює:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}), \quad (7)$$

Графіки зміни ймовірності безвідмовної роботи різних типів КУ за період один рік (8600 год) наведено на рис.9а.

Відказ елемента системи при експлуатації приводить до зниження продуктивності на певний період часу. У момент t_1 - настає відмова, при цьому

навантаження дорівнює N_1 . Частина навантаження (до рівня N_0) обмежується до часу t_2 .

$$\Delta A = \int_{t_1}^{t_2} (N_1(t) - N_0) dt \quad (8)$$

Для всіх типів водотрубних котлів, відказ одного змійовика чи будь-якого іншого елементу поверхні нагріву – це повний відказ котла та всієї системи теплоутилізаційного контуру (загальна електрична потужність установки зменшиться на величину потужності парової турбіни, а корисна теплова потужність ГПМВ зменшується на 100 %) Для термосифонних котлів-утилізаторів, які представляються як система з паралельним з'єднанням елементів, відказ одного термосифону – це частковий відказ КУ, який не призводить до зупинки роботи системи ТУК, а лише до зменшення значення $N_{\max}$ та $Q_{\text{кор}}^{\text{КУ}}$ у межах, пропорційних тепловій потужності термосифону, що вийшов з ладу.

Для всіх типів водотрубних котлів, відказ одного змійовика чи будь-якого іншого елементу поверхні нагріву – це повний відказ котла та всієї системи теплоутилізаційного контуру. Так як потужність парової турбіни становить близько 30% загальної електричної потужності установки, а її робота напряму залежить від котла-утилізатора, то відказ КУ призводить до зменшення загальної електричної потужності установки до рівня потужності встановленого ГТД (рис. 8а). При відказі одного елементу поверхні нагріву ГПМВ – корисна теплова потужність зменшується на 100%.

Для термосифонних котлів-утилізаторів, які представляються як система з паралельним з'єднанням елементів, відказ одного термосифону – це частковий відказ КУ, який не призводить до зупинки роботи системи ТУК, а лише до зменшення значення $N_{\max}$ та $Q_{\text{кор}}^{\text{КУ}}$ у межах, пропорційних тепловій потужності термосифону, що вийшов з ладу (рис 8б). Когенераційна газопаротурбінна установка завжди має резерв по встановленій потужності не менше 8-10 %. Тому відказ одного термосифону, який впливає на максимальну електричну та теплову потужність установки в межах менше 1%, не скажується на величині недовідпущення електричної та теплової енергії.

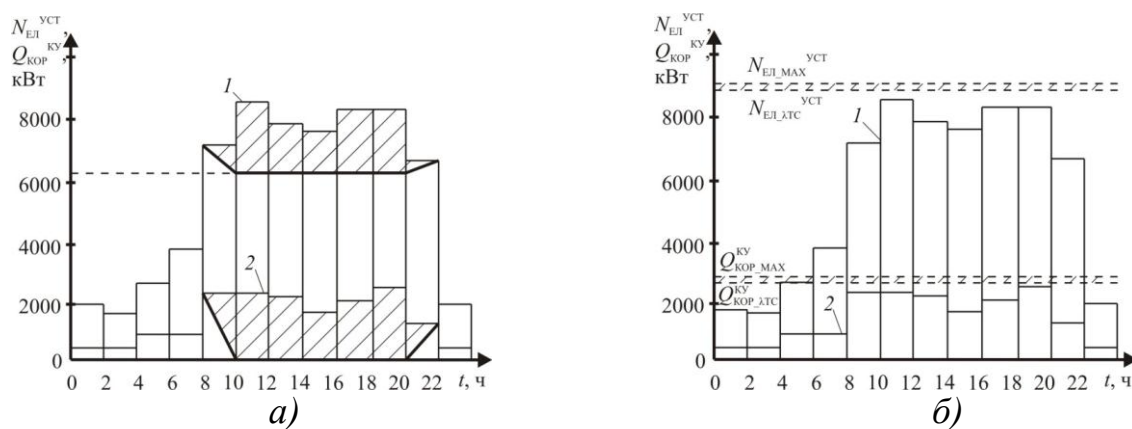


Рис. 8. Графік добового навантаження та недовідпущення електроенергії та тепла при використанні в складі ГПТУ різних типів котлів: а - водотрубного; б - термосифонного з природною циркуляцією. 1 – електрична енергія; 2 – теплова енергія.

Використовуючи статистичні дані наведені у літературі за 2009-2011 р.р. по відпущенню електричної та теплової енергії та числу годин в ремонті по причині відмов по ряду електростанцій, можна провести розрахунки недовідпущення електроенергії та теплоти при використанні в складі установки водотрубних котлів-утилізаторів, а при використанні в складі установки термосифонного секційного котла-утилізатора ці параметри розраховуються за ймовірнісним характером розподілення відказів – рис. 9б.

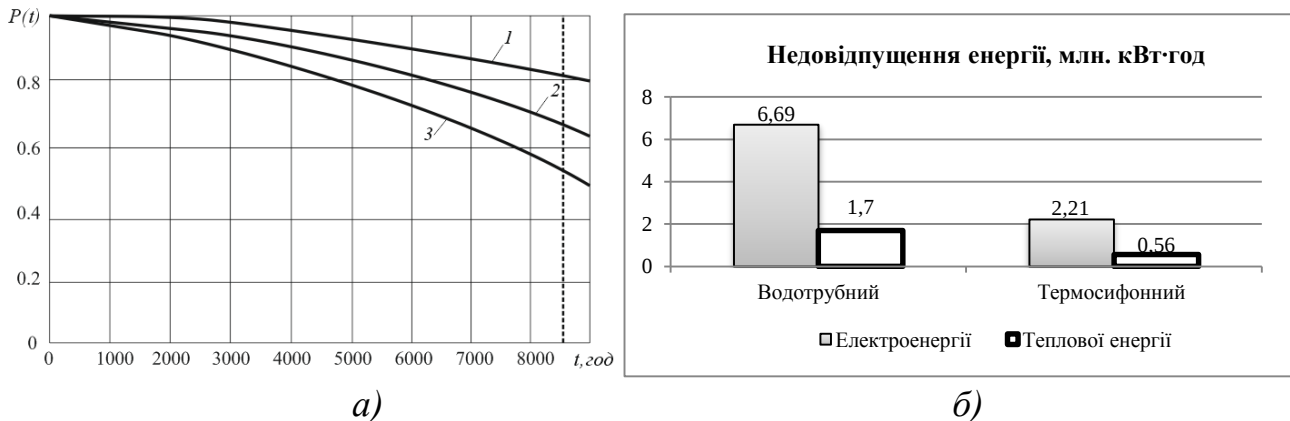


Рис. 9 а) Зміна ймовірності безвідмовної роботи випарних поверхонь нагріву за 1 рік (8600 годин): 1 - термосифонної; 2 - водотрубної з природною циркуляцією; 3 - змійовикової з примусовою циркуляцією; б) порівняння величини недовідпущення електроенергії та теплоти при використанні в складі ГПТУ термосифонного та водотрубного котлів за період 3 роки.

Дані розрахунків теплообміну у випарній поверхні нагріву КУ за удосконаленим методом теплового розрахунку показали, що недоотримання електричної та теплової енергії внаслідок завищення коефіцієнтів теплопередачі в поверхнях нагріву складає 2 та 6 % відповідно. Після внесення $\Delta t_{\text{те}}$ у метод розрахунку, для установки з ГТД UGT6000, вдалося отримати зростання теплової потужності на 157 кВт (приблизно 6 % від сумарної) і електричної потужності на 149 кВт (приблизно 2 % від сумарної) за рахунок збільшення відповідних поверхонь нагріву.

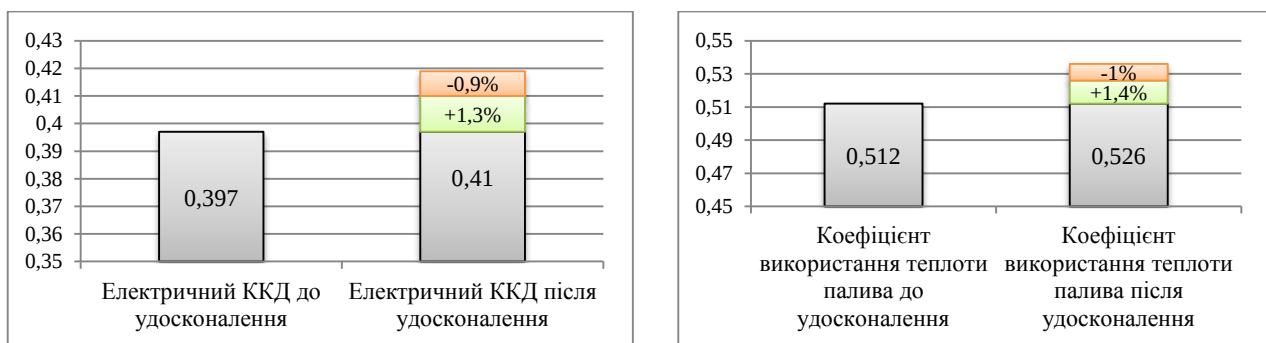


Рис. 10 Порівняння показників електричної та теплової ефективності установки з термосифонним КУ до та після вдосконалення конструкції

Необхідна електрична потужність парової турбіни досягається при встановленні 24 секцій термосифонів, замість 21, а необхідна теплова потужність при встановленні 18 секцій термосифонів, замість 15. Збільшення поверхні нагріву спричинило за собою збільшення аеродинамічного опору КУ і як наслідок зниження ефективності установки (ККД знизився на 0.9 % а коефіцієнт використання теплоти палива на 1 %). Однак приріст показників ефективності установки від збільшення теплової потужності секцій надав переважний вплив – рис. 10.

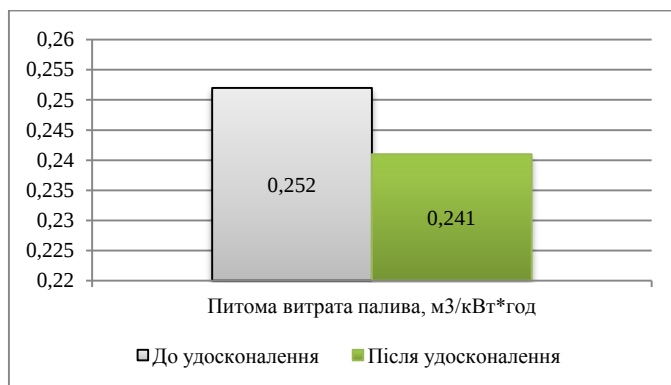


Рис. 11 Порівняння питомої витрати палива на 1 кВт електричної потужності установки до та після вдосконалення конструкції

Використання в складі установки удосконаленого термосифонного секційного КУ дозволило отримати збільшення електричного ККД на 1,3 % та коефіцієнту використання теплоти палива на 1,4 %. Питома витрата палива на 1 кВт електричної потужності зменшилась на 4% з 0,252 до 0,241 м³/кВт·год.

ВИСНОВКИ

1. Використання розробленого секційного термосифонного котла-утилізатора у складі ТУК когенераційних газопаротурбінних установок дозволить забезпечити зниження питомої витрати палива до 4 % в порівнянні з відомими термосифонними КУ за рахунок збільшення теплової потужності на 6 % внаслідок використання більш розвинених поверхонь нагріву.

2. Розроблено схемні рішення когенераційних ГПТУ з секційними термосифонними КУ: одного тиску з камерою догоряння для стабілізації паропродуктивності в умовах змінних параметрів навколишнього середовища, одного тиску з економайзером, газовим підігрівником конденсату і підігрівником мережної води з включенням термосифонів у вигляді паралельної системи, які відрізняються від схемних рішень з водотрубними КУ підвищеною ймовірністю безвідмовної роботи поверхонь нагріву, а від схемних рішень з існуючими термосифонними котлами високими показниками теплової ефективності (теплова потужність поверхонь нагріву вище на 6 %).

3. Удосконалено фізичну і математичну моделі для розрахунку параметрів ТУК когенераційних ГПТУ, які забезпечують визначення раціонального тиску та температури перегрітої пари в контурі парової турбіни з урахуванням змінних

протягом року температур зовнішнього повітря, конструктивні особливості водотрубних КУ, та на відміну від існуючих, враховують конструктивні особливості термосифонних секційних котлів-утилізаторів і їх вплив на електричну, теплову потужність та узагальнюючі показники надійності установки, що дозволило провести порівняння розробленого термосифонного секційного КУ з існуючими термосифонними за впливом на сумарну електричну та теплову потужність установки.

Адекватність моделі підтверджена задовільним узгодженням розрахункових показників ефективності когенераційних ГПТУ з ТУК з даними ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект» та даними інших авторів.

4. За результатами проведеного експериментального дослідження внутрішнього температурного перепаду двохфазних гравітаційних термосифонів, отримана та апроксимована аналітичним виразом залежність для розрахунку внутрішнього температурного перепаду термосифонів $\Delta t_{tc} = f(q_{tc})$, в діапазоні $0,5 \leq q_{tc} < 17 \text{ кВт/м}^2$, $42 < l/d_{tc} < 53$, з використанням води як проміжного теплоносія.

Точність результатів експериментів становить 5.7 %.

5. Удосконалено метод теплового розрахунку секційного термосифонного КУ, шляхом додаткового врахування внутрішнього температурного перепаду в термосифонах, що дозволило уточнити коефіцієнти теплопередачі в поверхнях нагріву котла. Проведений тепловий розрахунок на прикладі когенераційної ГПТУ з ГТД UGT6000 показав, що завдяки врахуванню Δt_{tc} вдалося отримати зростання теплової потужності на 157 кВт (приблизно 6 % від сумарної) і електричної потужності на 149 кВт (приблизно 2 % від сумарної) за рахунок збільшення відповідних поверхонь нагріву. Зростання електричного ККД та коефіцієнту використання теплоти палива склало 1,3 % та 1,4 % відповідно. Питома витрата палива на 1 кВт електричної потужності зменшилась на 4 % з 0,252 до 0,241 $\text{м}^3/\text{кВт} \cdot \text{год}$.

6. Використання в складі ТУК термосифонних котлів-утилізаторів збільшує масогабаритні показники в межах до 17 %, однак за рахунок автономності термосифонів з'єднаних у вигляді паралельної системи дозволить підвищити ефективність використання утилізованої теплоти на 30 % за рахунок зниження недовідпущення в наслідок відмов елементів поверхонь нагріву. Розрахунки на прикладі когенераційної ГПТУ на базі ГТД UGT6000 показали: з водотрубними КУ недовідпущення електричної енергії внаслідок відмов елементів поверхонь нагріву за розрахунковий період три роки становить 6,69 млн. кВт·год, а недовідпущення теплової енергії становить 1,7 млн. кВт·год, тоді як з термосифонним 2,1 та 0,56 млн. кВт·год відповідно.

7. Основні результати дисертаційної роботи мають наукове і практичне значення для проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт щодо раціонального використання паливно-енергетичних і вторинних енергоресурсів і використовуються ТОВ «Чорноморська лізінгова компанія», ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект», а також у навчальному процесі НУК ім. адм. Макарова при виконанні магістерських, дипломних проектів та курсових робіт за спеціальностями 8.090510 «Теплоенергетика», 8.051201 «СЕУ та У».

Розроблені конструкції термосифонних КУ захищені 2 патентами України на корисну модель.

Основні результати дисертації опубліковані в наукових спеціалізованих виданнях:

1. Епифанов А.А. Особенности конструкции и методики теплового расчета термосифонного секционного котла-утилизатора [Текст] / А.А Епифанов, Б.В. Дымо, Ю.А. Долганов // Збірник наукових праць НУК. Миколаїв: Видавництво НУК, 2011. №2 (437). с.97-105.
2. Долганов Ю.А. Термосифонный экономайзер-воздухоподогреватель для котельных агрегатов малой мощности [Текст] / Ю.А. Долганов, А.А Епифанов, Б.В. Дымо// Збірник наукових праць НУК. Миколаїв: Видавництво НУК, 2012. №1. с.14-20.
3. Yuri A. Dolganov. The experimental investigation of internal thermal resistance in two-phase gravity thermosyphons [Текст] / Yuri A. Dolganov, Alexander A. Epifanov //European Researcher, 2013. – Vol.43 (3-1). – p.539-542.
4. Долганов Ю.А. Исследование влияния температуры наружного воздуха на эффективность работы когенерационных установок парогазового цикла [Текст] / Ю.А. Долганов, А.А Епифанов/ Энергоресурсосбережение и энергоэффективность, 2013. - №4(52). – с.18-21.
5. Долганов Ю.А. Використання двохфазних теплопередавальних систем для охолодження світлодіодних модулів [Текст] / Ю.А. Долганов, О.А. Єпіфанов //: Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2013. – № 1.

Основні публікації, в яких додатково викладено зміст дисертації:

6. Патент України на корисну модель № 82747 «Котел» / Долганов Ю.А., Епіфанов О.А., Димо Б.В. // Заявлено 01.03.2011. Опубліковано 26.09.2011. Бюл. № 18.
7. Патент України на корисну модель № 97905 «Котел» / Долганов Ю.А. Епіфанов О.А., Димо Б.В.// Заявлено 20.10.2014. Опубліковано 10.04.2015. Бюл. № 7.
8. Долганов Ю.А. Комбінована термосифонна хвостова поверхня нагріву для котельних агрегатів малої потужності [Текст] / Єпіфанов О.А. Димо Б.В. Мельничук Н.О.// Матеріали V міжнародної НТК «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні». - Миколаїв, НУК, 27-28 травня 2011 р.– С.21–23.
9. Долганов Ю.А. Математична модель когенераційної установки комбінованого циклу [Текст] / Ю.А. Долганов, О.А. Єпіфанов // Матеріали НТК «Муніципальна енергетика: проблеми, рішення» - Миколаїв, НУК, 20.12.2011 - 21.12.2011.
10. Долганов Ю.А. Вдосконалення математичної моделі когенераційних установок комбінованого циклу [Текст] / Ю.А. Долганов, О.А. Єпіфанов // Матеріали V міжнародної НТК «Суднова енергетика: стан та проблеми» - Миколаїв, НУК, 10.11.2011 - 11.11.2011.

11. Долганов Ю.А. Експериментальне дослідження внутрішнього термічного опору двухфазних гравітаційних термосифонів [Текст] / Ю.А. Долганов, О.А. Єпіфанов // Матеріали VII міжнародної НТК «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» - Миколаїв, НУК, 08.06.2012 - 12.06.2012.
12. Долганов Ю.А. Дослідження впливу температури зовнішнього повітря на ефективність роботи когенераційних газопаротурбінних установок [Текст] / Ю.А. Долганов, О.А. Єпіфанов // Матеріали IV міжнародної НТК «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» - Миколаїв, НУК, 09.10.2013 - 11.10.2013.
13. Долганов Ю.А. Двохфазні термосифони в системах охолодження світлодіодних модулів [Текст] / Ю.А. Долганов, О.А. Єпіфанов // Матеріали міжнародної НТК «Суднова енергетика: стан та проблеми». Миколаїв, НУК, 3.11.2013 - 14.11.2013.
14. Долганов Ю.А. Експериментальне дослідження внутрішнього температурного перепаду в двофазних гравітаційних термосифонах [Текст] / Ю.А. Долганов, О.А. Єпіфанов // Матеріали V міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв, НУК, 8-10 жовтня 2014 р

Особистий внесок здобувача у працях, що опубліковані у співавторстві:

[1] – проведення теплових розрахунків котла-утилізатора з урахуванням швидкості циркуляції у випарному контурі, вдосконалення методу розрахунку урахуванням внутрішнього термічного опору термосифонів; [2] – розробка алгоритму та математичної моделі розрахунку повітропідігрівника; [3] – створення експериментального стенду, проведення випробувань, обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень внутрішнього температурного перепаду в двофазних гравітаційних термосифонах; [4] – отримання апроксимаційних залежностей та розробка математичної моделі для проведення розрахунків впливу температури навколишнього повітря на показники ефективності ТУК; [5] – розробка конструкції охолоджувача та отримання розрахункових залежностей при охолодженні джерела теплоти двухфазним термосифонним охолоджувачем при використанні в якості проміжного теплоносія фреону, ацетону та метанолу; [6], [7] – розробка конструкцій та проведення теплових розрахунків з метою визначення основних параметрів запропонованих котлів; [8] – проведення аналізу та співставлення запропонованого теплообмінного апарату з існуючими прототипами; [9,10] – вдосконалення математичної моделі та проведення розрахунків для отримання даних, щодо впливу тиску та температури перегрітої пари на показники ефективності установки; [11] – наладка експериментального стенду для роботи в режимних умовах, характерних для котлів-утилізаторів за ГТД потужністю від 2 до 10МВт; [12] – дослідження впливу параметрів навколишнього середовища на теплову ефективність котла-утилізатора; [13] – проведення співставлення існуючих типів систем охолодження світлодіодних модулів з розробленим термосифонним, розрахунки площі поверхні теплообміну при використанні в якості теплоносія води, ацетону, метанолу та фреону.

АНОТАЦІЯ

Долганов Юрій Анатолійович. Підвищення ефективності утилізації теплоти когенераційних газопаротурбінних установок з термосифонними котлами-утилізаторами. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – Двигуни та енергетичні установки. Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. Миколаїв, 2015

Дисертація присвячена дослідженню актуальної науково-технічної проблеми – підвищенню ефективності утилізації теплоти когенераційних газопаротурбінних установок з термосифонними котлами-утилізаторами. У дисертації наведені огляд та аналіз сучасних схемних рішень когенераційних ГПТУ з термосифонними котлами-утилізаторами. Удосконалено математичну модель розрахунку теплових схем когенераційних ГПТУ, яка забезпечує визначення раціональних параметрів робочого тіла теплоутилізаційного контуру з урахуванням змінних протягом року температур зовнішнього повітря, конструктивні особливості водотрубних КУ, та на відміну від існуючих, додатково враховує конструктивні особливості термосифонних секційних котлів-утилізаторів і їх вплив на електричну, теплову потужність та узагальнюючі показники надійності установки. Запропоновано програмне забезпечення для проведення автоматизованих розрахунків на ЕОМ. Проведено експериментальні дослідження внутрішнього температурного перепаду двохфазних гравітаційних термосифонів в діапазоні теплових навантажень від 0,5 до 17 кВт/м², в результаті яких отримана залежність $\Delta t_{tc} = f(q_{tc})$ для розрахунку внутрішнього температурного перепаду в порожнині термосифонів. Вдосконалена конструкція та метод теплового розрахунку термосифонного секційного котла-утилізатора горизонтальної компоновки з природною циркуляцією у випарному контурі. Підвищення ефективності утилізації теплоти когенераційних газопаротурбінних установок з термосифонними котлами-утилізаторами досягнуто за рахунок зростання теплової потужності відповідних поверхонь нагріву внаслідок збільшення площі теплообміну.

Ключові слова: газопаротурбінна установка, когенерація, котел-утилізатор, термосифон.

АННОТАЦИЯ

Долганов Юрий Анатольевич. Повышение эффективности утилизации теплоты когенерационных газопаротурбинных установок с термосифонными котлами-утилизаторами. - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 - Двигатели и энергетические установки. Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова. Николаев, 2015.

Диссертация посвящена исследованию актуальной научно-технической проблемы - повышению эффективности утилизации теплоты когенерационных газопаротурбинных установок с термосифонными котлами-утилизаторами. В диссертации приведены обзор и анализ современных схемных решений когенерационных ГПТУ с термосифонными котлами-утилизаторами.

Усовершенствована математическая модель расчета тепловых схем когенерационных ГПТУ, которая обеспечивает определение рациональных параметров рабочего тела теплоутилизационного контура с учетом переменных в течение года температур наружного воздуха, конструктивные особенности водотрубных КУ, и в отличие от существующих, дополнительно учитывает конструктивные особенности термосифонных секционных котлов-утилизаторов и их влияние на электрическую, тепловую мощность и обобщающие показатели надежности установки. Предложено программное обеспечение для проведения автоматизированных расчетов на ЭВМ. Проведены экспериментальные исследования внутреннего температурного перепада двухфазных гравитационных термосифонов в диапазоне тепловых нагрузок от 0,5 до 17 кВт/м², в результате которых получена зависимость $\Delta t_{tc} = f(q_{tc})$ для расчета внутреннего температурного перепада в полости термосифонов.

Усовершенствован метод теплового расчета секционного термосифонного КУ, путем дополнительного учета внутреннего температурного перепада в термосифонах, что позволило уточнить коэффициенты теплопередачи в поверхностях нагрева котла. Проведенный тепловой расчет на примере когенерационной ГПТУ с ГТД UGT6000 показал, что благодаря учету Δt_{tc} удалось получить рост тепловой мощности на 157 кВт (примерно 6% от суммарной) и электрической мощности на 149 кВт (примерно 2% от суммарной) за счет увеличения соответствующих поверхностей нагрева. Прирост электрического КПД составил 1,3% и коэффициента использования теплоты топлива 1,4%. Удельный расход топлива на 1 кВт электрической мощности уменьшился на 4 %.

Использование в составе ТУК термосифонных котлов-утилизаторов увеличивает массогабаритные показатели в пределах до 17%, однако за счет автономности термосифонов соединенных в виде параллельной системы позволит повысить эффективность использования утилизированной теплоты на 30% за счет снижения недоотпусков вследствие отказов элементов поверхностей нагрева. Расчеты на примере когенерационной ГПТУ на базе ГТД UGT6000 показали: с водотрубными КУ недоотпуск электрической энергии за расчетный период три года на основе статистических данных составляет 6,69 млн. кВт·ч, а недоотпуск тепловой энергии составляет 1,7 млн. кВт·ч, тогда как с термосифонным, на основе вероятностного распределения отказов, недоотпуски составят 2,1 и 0,56 млн. кВт·ч соответственно.

Повышение эффективности утилизации теплоты когенерационных газопаротурбинных установок с термосифонными котлами-утилизаторами достигнуто за счет роста тепловой мощности соответствующих поверхностей нагрева вследствие увеличения площади теплообмена.

Ключевые слова: газопаротурбинная установка, когенерация, котел-утилизатор, термосифон

SUMMARY

Yuri A. Dolganov. Increase in efficiency of heat recovery exhaust gases of cogeneration combined-cycle power plants with thermosyphon heat-recovery boilers. – Manuscript.

The dissertation for obtaining scientific degree of the candidate of technical sciences, on specialty 05.05.03. – Engines and power plants. – National University of Shipbuilding named after the admiral Makarov, Ukraine, 54025, Mykolaiv, 2015.

The dissertation is devoted to actual scientific and technical problems – improve the efficiency of heat recovery cogeneration combined cycles power plants with thermosyphon recovery boilers. The thesis provides a review and analysis of modern circuit design cogeneration combined cycles power plants with thermosyphon heat recovery boilers. Improved mathematical model calculation of schemes cogeneration combined cycles power plants which additionally takes into account the structural features of thermosyphon sectional recovery boilers and their effect on the electrical, thermal capacity and reliability generalizing installation.

Carried out the experimental investigations of the internal temperature gradient gravitational two-phase thermosyphon heat loads ranging from 0.5 to 17 kW/m², which resulted in the dependence $\Delta t_{ts} = f(q_{ts})$ to calculate the internal temperature gradient in the cavity thermosyphon.

An improved method for calculating the thermal sectional thermosyphon heat recovery boilers, by taking into account the additional internal temperature gradient in thermosyphon that served to clarify the heat transfer coefficients in the boiler heating surfaces. Performing thermal calculations of cogeneration combined cycles power plants with UGT6000 showed that by taking into account Δt_{ts} managed to get the growth of thermal power to 157 kW (about 6% of the total) and electric power to 149 kW (about 2% of the total) by increasing the respective heating surfaces. Increase in electrical efficiency was 1.3% and the utilization rate of heat fuel 1.4%. Specific fuel consumption per 1 kW of electric power decreased by 4%.

Improving the efficiency of heat recovery of cogeneration combined cycle power plants with thermosyphon heat recovery boilers achieved by increasing the heat output to the heating surfaces due to increased heat transfer area.

Keywords: combined-cycle power plants, cogeneration, heat-recovery boiler, thermosyphon.