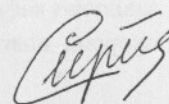


Автореферат
Ч-49

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЧЕРНИШОВА ІРИНА ВАЛЕРІЇВНА



УДК 697.4; 536.7

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ТЕРМОТРАНСФОРМОВАНОЇ
ЕНЕРГІЇ ОХОЛОДЖЕННЯ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ

Спеціальність 05.14.06 - Технічна теплофізика і промислова
теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Петраш Віталій Демьянович
Одеська державна академія
будівництва і архітектури МОН України,
завідувач кафедри опалювання, вентиляції та
охорони повітряного басейну

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дорошенко Олександр Вікторович
Одеська національна академія харчових
технологій МОН України, професор кафедри
термодинаміки та поновлюваної енергії

доктор технічних наук, професор
Баласанян Геннадій Альбертович
Одеський національний політехнічний університет
МОН України, професор кафедри теплових
електростанцій та енергозберігаючих технологій

Захист дисертації відбудеться "24" 11 2014 р. о 14³⁰ годині в ауд.108 на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.03 в Одеській національній
академії харчових технологій за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082,
Україна.

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

Автореферат розісланий "08" 10 2014 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 41.088.03
доктор технічних наук, професор

В.І. Мілованов

Актуальність теми. У виробництві будівельних матеріалів і виробів проблема підвищення ефективності використання палива являється найбільш актуальною для таких енергоємних видів продукції, як цемент, керамзит, вапно, керамічні стінні матеріали, збірні і монолітні залізобетонні конструкції і так далі. На їх виробництво щорічно витрачається більше 50% усіх паливно-енергетичних ресурсів, споживаних в цій галузі. Зокрема, в найбільш енергоємних печах виробництва сипучих і стінних матеріалів коефіцієнт використання палива в 2-3 рази менший, ніж в генераторах традиційного теплопостачання. Втрати теплоти в доквілля з бічної поверхні, зазвичай не укритої печі, досягають 6-7 кВт/м². При цьому ефективність спалювання палива в таких агрегатах не перевищує 40%, а втрати теплоти з бічної поверхні досягають 10-30% його загальної витрати. В умовах дефіциту і високої вартості теплової енергії в Україні актуальним є зниження витрати первинного палива в технологічних процесах, а також підвищення ефективності відбору, перетворення і використання енергії для промислового і комунально-побутового теплопостачання.

Перспективним видається напрям застосування теплонасосних технологій для енергозбереження в процесах виробництва будівельних матеріалів в обортових печах з утилізацією низькотемпературних газоповітряних потоків. Логічно, що мінімізація теплоти термотрансформаторної компоненти в загальному енергетичному потоці має бути домінуючою в системах енергозбереження на цій основі.

Тому тема дисертаційної роботи, в якій розробляються нові науково-технічні принципи підвищення ефективності використання енергії первинного палива із стабілізацією температурного режиму охолодження поверхні печі, перетворення і споживання теплоти системами теплопостачання будівельно-технологічних комплексів, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Напрямок, мета і завдання, а також результати дослідження роботи відповідають Державній програмі України наукового напрямку 04.06 - "Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології", "Плану заходів на 2006 - 2010 р. р. по реалізації "Енергетичної стратегії України на період до 2030 р.", затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України № 436-р, від 27.06.2006 р.

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до наукової тематики ОДАБА. Результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також відповідні методики розрахунку систем, що розробляються, були отримані автором при участі у виконанні науково-дослідної держбюджетної роботи МОН України "Підвищення теплоенергетичної ефективності виробництва сипучих будівельних матеріалів у обортових печах"(№119, з 2.01.2011 р. по 30.12.2012 р., д.р. №0105U000867).

xv 441
ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає в науково-технічному обґрунтуванні нового підходу і розробці систем енергозбережної технології теплопостачання на основі рекуперативно-термотрансформаторної утилізації теплоти стабілізуючого охолодження обертової печі і суміжних газоповітряних потоків.

Для досягнення поставленої мети знадобилося рішення наступних завдань:

- розробити теплотехнологічні основи пристрою і системи енергозбереження на основі комбінування рекуперативної і теплонасосної технології утилізації теплоти із стабілізуючим охолодженням обертової печі для промислового і комунально-побутового теплопостачання;

- провести аналітичне дослідження процесів трансформації теплоти і пошук раціонального взаємозв'язку структурних елементів в запропонованих системах для спільної енергоефективної роботи з системами теплопостачання в характерних режимах;

- розробити і провести дослідження інтегрованої системи з доохолодженням рециркуляційного потоку в режимі стабілізуючого охолодження печі з використанням суміжних газоповітряних потоків для розширення енергетичного ресурсу промислового теплопостачання;

- провести експериментальні дослідження по встановленню достовірності початкових концептуальних положень і результатів аналітичного дослідження, визначити техніко-економічну, екологічну ефективність роботи і загальний принцип інженерного розрахунку розроблених систем.

Об'єкт дослідження: теплотехнологічні процеси і системи відбору і споживання енергії низькотемпературних джерел.

Предмет дослідження: Процеси і системи теплонасосного теплопостачання на основі енергії стабілізуючого охолодження обертової печі і суміжних енергетичних потоків.

Методи дослідження. У роботі використаний комплексний метод дослідження, що включає: аналіз теоретичних і експериментальних робіт з науковим узагальненням отриманих результатів; розрахунково-аналітичне і математичне моделювання, в основі яких закладені класичні рівняння гідравліки і теплопередачі; способи аналітичного рішення поставлених завдань з підтвердженням достовірності теоретичних залежностей результатами експериментального дослідження. Методи дозволили отримати достовірну інформацію про раціональні режими роботи запропонованих систем для подальшого їх застосування в широкому діапазоні змінних умов роботи створюваних комплексів промислового теплопостачання.

Наукова новизна отриманих результатів. Основний науковий результат роботи полягає в теоретичному обґрунтуванні і розробці нового підходу до рішення важливої науково-технічної задачі створення енергозбережної технології термотрансформаторного теплопостачання на основі регульованого охолодження обертових печей.

1. Уперше обґрунтовані і сформульовані визначальні науково-технічні принципи створення енергозбережної технології і розроблені нові системи (пат. №88327) теплопостачання на основі рекуперативно-термотрансформаторної утилізації теплоти стабілізуючого охолодження обертових печей і суміжних газоповітряних потоків.

2. В результаті аналітичного дослідження запропонованих систем встановлені нові залежності коефіцієнта перетворення, що містять незалежні початкові умови і режимні параметри. Вони дозволяють здійснювати пошук раціональних умов роботи розроблених систем по забезпеченню високоефективної трансформації енергетичних потоків за вимогами теплотехнології і промислового теплопостачання.

3. Отримали подальший розвиток наукові розробки раціональних рішень систем динамічної стабілізації регульованого охолодження печі на основі пароконденсійної трансформації енергетичних потоків (пат. №61472). Встановлено, що ефективність систем зростає зі збільшенням витрати теплоносія на водопостачання, а також при зниженні температури теплоносія в системі опалювання, як для розрахункових умов, так і в процесі експлуатаційного регулювання. Показано, що низькотемпературним системам опалювання слід віддавати перевагу у встановленому діапазоні співвідношення витрат води на гаряче водопостачання і опалювання.

4. Уперше запропоновані і розроблені нові технічні рішення багатофункціональних енергозбережних комплексів (пат. №101512) з використанням суміжних газоповітряних потоків, що забезпечують збільшення енергетичного потенціалу промислового теплопостачання на 16-37%. Встановлено раціональне поєднання початкових умов, які в запропонованих системах забезпечують значення коефіцієнта перетворення не менше 7. Для них встановлені режими експлуатації, при яких можуть бути досягнуті його значення до 12.

Наукове значення роботи. Результати теоретичного, розрахунково-аналітичного і експериментального дослідження дозволили розробити нову технологію створення і облаштування теплонасосних систем теплопостачання на основі енергії стабілізуючого охолодження обертових печей з утилізацією суміжних теплових потоків.

Практичне значення отриманих результатів. На базі результатів дослідження запропонований новий підхід для інженерної розробки енергозбережної теплонасосної технології створення комплексів теплопостачання на основі енергії стабілізуючого охолодження обертової печі і суміжних газоповітряних потоків.

Для розроблених базової і вдосконаленої систем експериментально підтверджена достовірність концептуального підходу практичного застосування холодної води в якості низькопотенціального джерела енергії в спільному процесі доохолодження рециркуляційного потоку із стабілізуючим відбором енергії охолодження печі для промислового теплопостачання.

Впровадження результатів роботи у виробництво забезпечує 10-15% підвищення потужності раніше розроблених комплексів теплопостачання (0,85-7,6 МВт), а також надійності (довговічності) печі і міри екологічної ефективності внаслідок зниження хімічного і теплового забруднення довкілля.

Основні положення, рекомендації і нові технічні рішення дисертаційної роботи прийняті до практичного використання при експлуатації і реконструкції обертових печей в ПП "Куліндорівський індустріальний концерн" (м. Одеса), очікуваний термін окупності до 3-5 років ("Акт" від 03.02.2014 р.).

Розробки прийняті до практичного використання ДП ПІ "Проектний інститут "Одеський Промбудпроект" компанії "Укрбуд" при реконструкції і проектуванні заводів виробництва будівельних матеріалів в обертових печах ("Акт" від 18.02.2014 р.).

Основні наукові положення роботи використовуються в учбовому процесі "Інституту інженерно-екологічних систем" ОДАБА при підготовці студентів освітньо-кваліфікаційного рівня "Спеціаліст" і "Магістр" ("Довідка" від 10.02.2014 р.).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, виведень і рекомендацій підтверджуються коректною постановкою методики теоретичних і експериментальних досліджень, детальним аналізом погрешностей вимірюваних величин і їх адекватним описом; результатами порівняння розрахункових величин з емпіричною інформацією. Результати теоретичних розробок і експериментальні дані, що стосуються теплогідравлічних характеристик розроблених теплонасосних систем теплопостачання, задовільно узгоджуються; експериментальні дослідження проведені з використанням сучасних методів виміру фізичних величин і обробки даних з оцінкою відповідних погрешностей. Міра достовірності наукових положень і результатів підтверджується задовільними даними з результатами робіт вітчизняних і зарубіжних вчених в області термодинаміки, теплопередачі і теплонасосних технологій.

Особистий вклад здобувача. Основні ідеї, наукові і теоретичні положення в розвитку енергозбережних систем на основі комбінування рекуперативних і теплонасосних підсистем для теплопостачання, а також практичні рекомендації запропоновані і розроблені автором особисто. У дисертації узагальнені усі результати, отримані автором при виконанні вищезгаданих науково-дослідних робіт в період з 2008 р. до теперішнього часу. У роботах, опублікованих в співавторстві, авторові належить: постановка завдань і шляхів їх рішення; розробка нових технічних рішень; методик досліджень; обробка результатів і формулювання виведень.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і головні положення дисертаційної роботи докладалися: на науково-технічних конференціях Одеської державної академії будівництва і архітектури (м. Одеса, 2007 - 2013 р.р.); на Міжнародній науково-практичній

конференції "Енергоефективність Одещини і її майбутнє", (м. Одеса, 2008 р.); Харківського національного університету будівництва і архітектури (м. Харків, 2011, 2013 р.р.); на 1-ій Міжнародній науково-практичній конференції "Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі і будівництві" Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ, 2011 р.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладений в 12 друкарських роботах, у тому числі в 7 спеціалізованих виданнях ВАК України і Республіки Білорусь, 3-х патентах України, 1 - тезах доповіді.

Об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з введення, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 91 найменування і додатків. Робота викладена на 122 сторінках основного тексту, 43 рисунках, 3 таблицях, всього 211 сторінок.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

У **введенні** наводиться обґрунтування актуальності теми, сформульована мета і завдання досліджень, викладено їх наукове і практичне значення.

У **першому розділі** на основі аналізу науково-технічної літератури по теплотехнологічних процесах, а також системам відбору і передачі теплоти охолодження обертових печей встановлено, що найбільш раціональними і перспективними рішеннями для їх укріття є спарені напівкільцеві канали з перфорованими елементами, що забезпечують необхідну ефективність воздухоструминного відбору теплоти.

Встановлено, що в найбільш досконалій водоповітряній системі стабілізуючого охолодження поверхні печі існує залежність початкової температури охолоджувального повітря на вході в укріття печі від температури холодної води, яка є змінною впродовж року. Вона досягає, зокрема на півдні України, літом 25-35 °С, зимою до 5-10 °С. З цієї причини не представляється можливим підтримувати стійку і надійну стабілізацію режиму охолодження печі. Крім того, температура гарячої води не завжди достатня для абонентських систем, у зв'язку з чим вона вимагає додаткового догріву від зовнішнього джерела енергії, що у більшості випадків не доцільно.

Одним з перспективних напрямів в рішенні поставленої задачі є технологія термотрансформації енергетичних потоків на основі теплових насосів, що забезпечує необхідний рівень теплотехнологічної стабілізації температурного режиму печі і дозволяє ефективніше використати ресурс низькопотенціальної енергії вторинних і поновлюваних джерел для теплотехнологічного і промислового теплопостачання. При цьому ефективність перетворення енергії низькопотенціальних теплоджерел в 3-4 рази вище за приводну потужність теплових насосів. Крім того термотрансформація енергії охолодження для теплопостачання сприяє захисту довкілля за рахунок скорочення теплового забруднення і зниження кількості шкідливих викидів продуктів згорання.

На цій основі сформульована мета і завдання подальших досліджень.

У **другому розділі** представлена базова структура розробленої системи, рис. 1, (пат. №88327) в якій контур повітряного охолодження складається з укриття печі 1, калорифера 2 і вентилятора 3, які послідовно сполучені рециркуляційним повітропроводом. У спареному каналі укриття печі забезпечується регульована струминна дія повітряного потоку з постійною витратою при незмінному перепаді температур теплоносія в умовах змінної температури зовнішнього повітря впродовж року. Після охолодження печі гаряче повітря поступає в теплообмінник 2, де нагріває воду. Потім охолоджений рециркуляційний потік знову поступає в укриття печі.

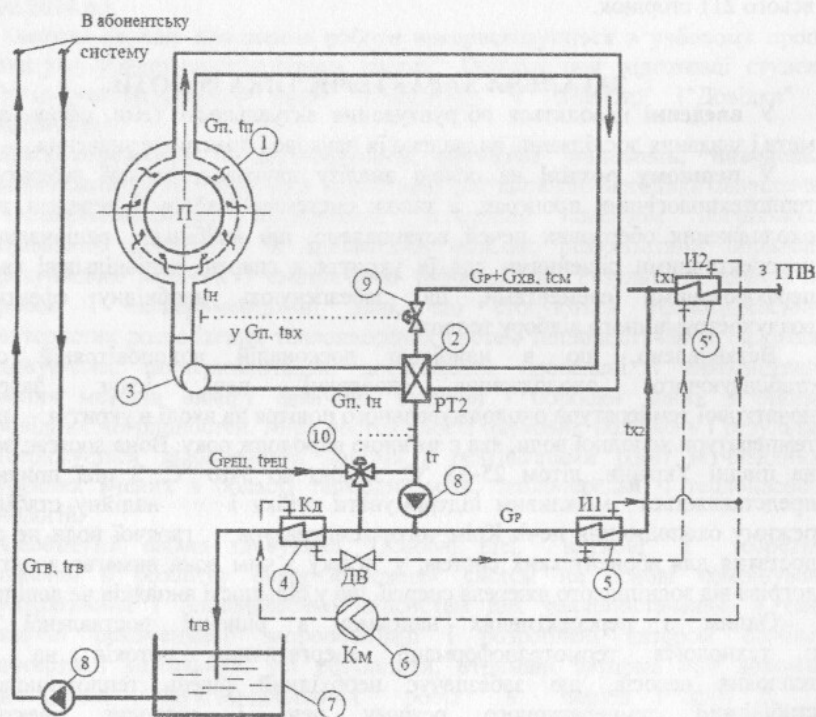


Рис. 1. Система теплопостачання на основі термотрансформованої енергії стабілізуючого охолодження обертової печі і холодної води.

1 - укриття печі; 2 - калорифер; 3 - вентилятор; 4 - конденсатор; 5, 5' - випарники; 6 - компресор; 7 - бак-акумулятор; 8 - насоси; 9 - температурний регулятор витрати теплоносія; 10 - триходовий регулятор витрати.

Вода з питного водопроводу з початковою температурою $t_{хв}$, яка в різні періоди року маючи різну температуру ($5-25^{\circ}\text{C}$), за допомогою насоса 8 проходить через випарний теплообмінник 5', охолоджується до температури $2-5^{\circ}\text{C}$. Це дозволяє стабілізувати температуру початкового повітряного потоку для охолодження печі, після чого вона поступає в калорифер 2. Тут конденсатором служить теплообмінник 4, де відбувається нагрів води в процесі конденсації робочого тіла, а паралельно доохолоджуючими являються випарники 5, 5', де здійснюється відбір теплоти від киплячого фреону. Вони паралельно сполучені між собою і послідовно сполучені по міжтрубному простору трубопроводом з дросельним клапаном ДВ і компресором 6 із зовнішнім приводом.

Для підвищення ефективності енергопостачання від води в теплообміннику-випарнику 5 відбирається теплота з подальшою передачею її в конденсаторі 4 тому ж потоку на шляху до бака-акумулятора 7. Отже, більше охолоджена частина рециркуляційного або початкового потоку води забезпечують можливість досить глибокого і постійного в часі охолодження циркулюючого повітря.

Стабілізація охолодження печі впродовж року виключає перегрівання її конструктивних шарів, підвищується стійкість і термін служби футерування, а також якість вироблюваної продукції. При цьому теплота, що утилізована, в запропонованій системі може бути ефективно використана для теплотехнологічного і промислового теплопостачання.

Загальний енергетичний потік, що витрачається в процесі нагріву води в даній термотрансформаторній системі може бути представлений у вигляді

$$Q = Q_{п} + N = Q_{PT2} + Q_{к} - Q_{И1} - Q_{И2}, \quad (1)$$

де $Q_{п}$ - тепловий потік, сприйнятий з охолоджуваної поверхні обертової печі, Вт; N - тепловий еквівалент приводної потужності компресора, Вт; Q_{PT2} - сприйнята теплота утилізації в рекуперативному теплообміннику PT2, Вт; $Q_{к}$ - тепловий потік, сприйнятий в конденсаторі термотрансформаторного контура, Вт; $Q_{И1}$, $Q_{И2}$ - утилізований тепловий потік у випарниках И1, И2 термотрансформаторного контура, відповідно, Вт.

Енергія охолодження початкового і рециркуляційного водних потоків у випарниках №1, №2 представляється як

$$Q_{И1} + Q_{И2} = G_{хв} \cdot c_{в} \cdot \left[x \cdot \left(\frac{x \cdot t_{х2} + t_{х1}}{(1+x)} + \frac{G_{п} \cdot c_{п} \cdot (t_{п} - t_{н})}{(1+x) \cdot G_{хв} \cdot c_{в}} - t_{х2} \right) + (t_{хв} - t_{х1}) \right]. \quad (2)$$

де $G_{р}$ - витрата рециркуляційного потоку нагрітої води, що проходить через випарник И1, кг/хв, при цьому $G_{р} = x \cdot G_{хв}$; $G_{хв}$ - витрата холодної води, кг/хв; $t_{п}$ - температура води після рекуперативного теплообмінника PT2, $^{\circ}\text{C}$; $t_{х1}$ - температура води після випарника И2, $^{\circ}\text{C}$; $t_{х2}$ - температура води після випарника И1, $^{\circ}\text{C}$; $t_{хв}$ - температура холодної води, $^{\circ}\text{C}$; $c_{в}$ - середня теплоємність води, Дж/(кг $\cdot$ $^{\circ}\text{C}$); $G_{п}$ - витрата газоповітряного середовища в циркуляційному контурі, кг/хв; $t_{п}$ - температура газоповітряного потоку після укриття печі, $^{\circ}\text{C}$;

t_H – початкова температура газоповітряного потоку на вході в укриття печі, $^{\circ}\text{C}$;
 $c_{\text{п}}$ – середня теплоємність газоповітряного середовища, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Тепловий потік нагріву води і рециркуляційної частини теплоносія в системі гарячого водопостачання в конденсаторі при

взаємозв'язку $G_{\text{ГВ}} = \beta \cdot G_{\text{ХВ}}$, $G_{\text{РЕЦ}} = \mu \cdot G_{\text{ГВ}}$, визначається наступним алгоритмом

$$Q_K = G_{\text{ХВ}} c_{\text{В}} \left[\left(t_{\text{ГВ}} - \frac{x \cdot t_{\text{Х2}} + t_{\text{Х1}}}{(1+x)} - \frac{G_{\text{п}} c_{\text{п}} (t_{\text{п}} - t_{\text{Н}})}{(1+x) G_{\text{ХВ}} c_{\text{В}}} \right) + \mu \beta (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{РЕЦ}}) \right]. \quad (3)$$

Таким чином, коефіцієнт перетворення в роботі аналізованої системи, що враховує початкові умови і режимні параметри абонентської системи, остаточно представляється рівнянням наступного виду

$$\varphi_K = \frac{1}{x \cdot \left(\frac{x \cdot t_{\text{Х2}} + t_{\text{Х1}}}{(1+x)} + \frac{G_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{Н}})}{(1+x) \cdot G_{\text{ХВ}} \cdot c_{\text{В}}} - t_{\text{Х2}} \right) + (t_{\text{ХВ}} - t_{\text{Х1}})} \quad (4)$$

$$1 - \left(t_{\text{ГВ}} - \frac{x \cdot t_{\text{Х2}} + t_{\text{Х1}}}{(1+x)} - \frac{G_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{Н}})}{(1+x) \cdot G_{\text{ХВ}} \cdot c_{\text{В}}} \right) + \mu \cdot \beta \cdot (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{РЕЦ}})$$

На основі рівняння (4) представлені графічні залежності, рис. 2, коефіцієнта перетворення від температури рециркуляційного потоку після укриття печі при вступі холодної води з підвищеною температурою $t_{\text{ХВ}} = 20^{\circ}\text{C}$ в теплий період року.

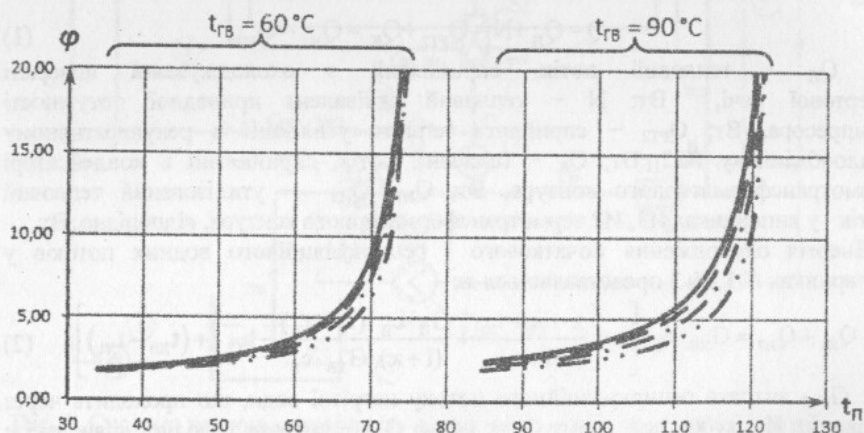


Рис. 2. Залежність коефіцієнта перетворення від температури теплоносія після укриття печі при різній інтенсивності рециркуляції води, що нагрівається.

$t_{\text{ГВ}}$ – температура абонентського теплоносія, $^{\circ}\text{C}$;

— $x=0,8$; --- $x=0,6$; - · - · - $x=0,4$; · · · · · $x=0,2$.

З представлених графіків виходить, що при заданій температурі нагріву абонентського теплоносія більш високі значення коефіцієнта перетворення забезпечуються при більш високих температурах рециркуляційного повітряного потоку, що поступає з відповідних укриваних ділянок обертової печі. Очевидно, що робота аналізованої системи в режимі тільки рекуперативного нагріву абонентського теплоносія забезпечується при більш високих температурах рециркуляційного повітряного потоку, що знаходяться в правій частині графіків. На графіках відзначається незначне зростання коефіцієнта перетворення при збільшенні інтенсивності рециркуляції водного потоку, який чіткіше проявляється при збільшенні температурного перепаду між середовищем тим, що гріє і нагріваемим середовищем, зумовлюваний відповідним підвищенням ефективності роботи рекуперативного водоповітряного теплообміну.

Представлені графіки на рис. 3 наочно підтверджують можливість підвищення коефіцієнта перетворення при використанні холодної води в міжопалювальний період року в якості низькопотенціального джерела. При цьому одночасно забезпечується стабілізація теплогідрравлічного режиму водоповітряного калориферного теплообмінника, що забезпечує необхідне охолодження рециркуляційного повітряного потоку для відбору необхідної кількості теплоти з укриваної поверхні печі.

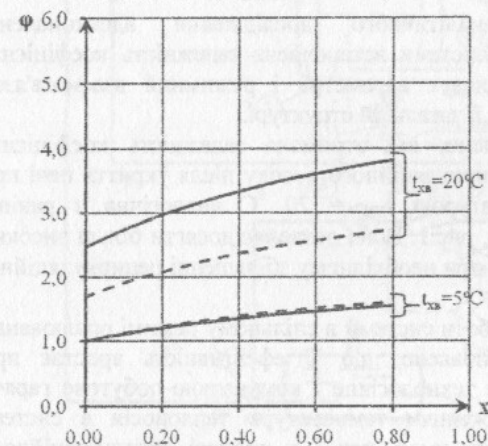


Рис. 3. Залежність коефіцієнта перетворення від інтенсивності рециркуляції середовища, що нагрівається, і температури холодної води:

— $t_{\text{ГВ}} = t_{\text{Н}} = 60^{\circ}\text{C}$;
 --- $t_{\text{ГВ}} = t_{\text{Н}} = 90^{\circ}\text{C}$.

Графічні залежності також вказують на зростання коефіцієнта перетворення в процесі підвищення інтенсивності рециркуляційної частини середовища, що нагрівається, при вступі в систему теплої води в теплий період року.

Таким чином, використання температурного потенціалу холодної води в теплий період року підтверджує доцільність використання її в якості низькопотенціального джерела, а також для одночасного застосування охолодженого потоку для стабілізації теплогідрравлічного режиму роботи системи відбору і перетворення

утилізованої теплоти з поверхні печі для промислового теплопостачання.

У **третьому розділі** викладені результати розробки рекуперативно-трансформаторної системи стабілізуючого охолодження обертової печі з інтеграцією енергії суміжних газоповітряних потоків (пат. №61472), яка відкриває нові можливості енергозбереження зі збільшенням теплового потоку для промислового теплопостачання.

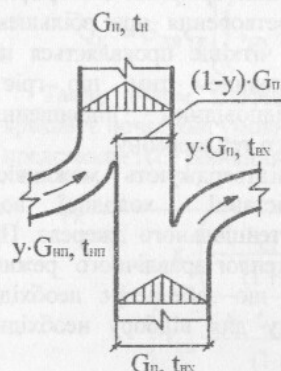


Рис. 4. Розрахункова схема розподілу рециркуляційного потоку з інтеграцією енергії низькопотенціального газоповітряного середовища

На основі результатів аналітичного дослідження вдосконаленої рекуперативно-трансформаторної системи встановлено залежність коефіцієнта перетворення, що додатково враховує параметри і режимний взаємозв'язок суміжних газоповітряних потоків в її загальній структурі.

В результаті аналізу встановлено, що отримана залежність коефіцієнта перетворення від температури рециркуляційного потоку після укриття печі при вступі холодної води з температурою $t_{хв} = 20^\circ\text{C}$ аналогічна з раніше встановленою для базової системи, рис.1. Вона дозволяє досягти більш високих значень коефіцієнтів перетворення при необхідному збільшенні рециркуляційної частини води в теплий період року.

Дослідженням ефективності роботи системи в спільному режимі опалювання і гарячого водопостачання встановлено, що її ефективність зростає при збільшенні витрати теплоносія на технологічне і комунально-побутове гаряче водопостачання, а також зі зниженням температури теплоносія в системі опалювання, як для розрахункових умов, так і в процесі експлуатаційного регулювання. Встановлено, що низькотемпературним системам опалювання слід віддавати перевагу в діапазоні співвідношення витрат води на гаряче водопостачання і опалювання $0,3 \div 0,9$, передусім при високих температурах газоповітряного потоку.

Встановлено, що спільний процес утилізації теплоти стабілізуючого охолодження печі і суміжних газоповітряних потоків дозволяють істотно збільшити загальний генерований потік для промислового теплопостачання і значення коефіцієнта перетворення в процесі доохолодження рециркуляційного потоку охолодження печі. Проте

такий підхід пов'язаний з відповідним зростанням енергії, що витрачається дорогою ТНУ. Це вимагає додаткових досліджень за визначенням раціонального рівня доохолодження у випарнику рециркуляційного повітряного потоку.

У **четвертому розділі** проаналізована система промислового теплопостачання (пат. №101512), рис. 5, яка дозволяє інтегрувати енергію охолодження бічної поверхні і низькопотенціальних джерел з термотрансформаторним доохолодженням рециркуляційного потоку до необхідного рівня в процесі відповідного зниження температури води в теплий період року.

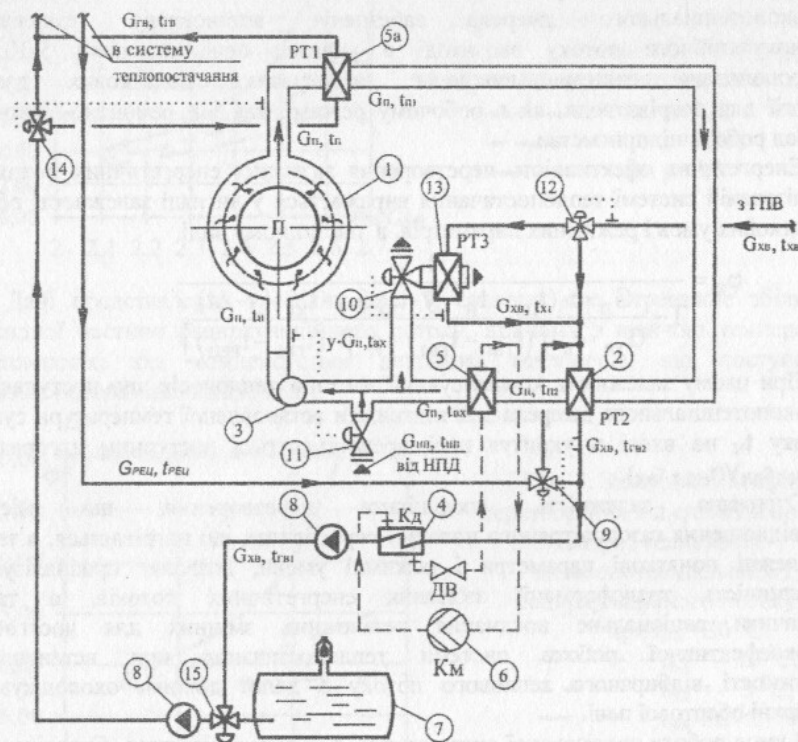


Рис. 5. Система теплопостачання на основі термотрансформованої енергії стабілізуючого охолодження печі і переохолодження теплоносія низькопотенціальних джерел. 1 - укриття печі; 2 - калорифер; 3 - вентилятор; 4 - конденсатор; 5 - випарник; 6 - компресор; 7 - бак-аккумулятор; 8 - насоси; 9 - регулятор витрати; 10, 11 - відповідно, скидний і заборний патрубки з триходовими регуляторами витрати; 12, 14, 15 - триходовий регулятор витрати; 13 - рекуперативний теплообмінник

Після охолодження печі гаряче повітря з теплообмінника попереднього охолодження 5а поступає в калорифер 2, де воно охолоджується, нагріваючи воду. Охолоджене рециркуляційне повітря після калорифера 2 в результаті проходження через випарний теплообмінник 5 доохолоджується. Після проходження через патрубок 10 повітря, охолоджуючи воду до 5 °С, видаляється в атмосферу. Він замінюється теплим газоповітряним потоком від низькопотенціального джерела, поступаючи через повітрязабірний патрубок 11. Автоматизований процес змішення переохолодженої частини рециркуляційного потоку і газоповітряного енергоносія, що поступає, від низькопотенціального джерела забезпечує встановлену температуру рециркуляційного потоку на вході в укриття печі, на рівні 5-10 °С. Запропонована система виключає застосування додаткових джерел енергії для догріву води, як в робочому режимі, так і в ремонтно-відновний період роботи підприємства.

Енергетична ефективність перетворення зв'язаних енергетичних потоків в аналізованій системі тепlopостачання виражається у вигляді залежності обліку початкових умов і режимних параметрів, в наступному виді

$$\varphi_k = \frac{1}{1 - \frac{G_{\Pi} \cdot c \cdot (t_{\Pi 2} - t_H - y \cdot t_{BX} + y \cdot t_{X1} - y \cdot \Delta t)}{G_{XB} \cdot c_B \cdot [(t_{ГВ1} - t_{ГВ2}) + \mu \cdot \beta \cdot (t_{ГВ1} - t_{РЕЦ})]}} \quad (5)$$

При цьому залежність компенсуючої частини теплоносія, що поступає, від низькопотенціального джерела для підтримки встановленої температури суміші потоку t_H на вході в укриття печі представляється наступним алгоритмом $y = (t_H - t_{BX}) / (t_{\Pi 1} - t_{BX})$.

Отримана залежність коефіцієнта перетворення, що містить співвідношення газоповітряного потоку і середовища, що нагрівається, а також незалежні початкові параметри і режимні умови, дозволяє проаналізувати ефективність трансформації зв'язаних енергетичних потоків, а також визначити раціональне поєднання незалежних змінних для досягнення високоефективної роботи системи тепlopостачання при встановленій потужності відбираного теплового потоку з даної ділянки охолоджуваної поверхні обертової печі.

З умов роботи аналізованої системи, рис. 5, а також рівняння (5) витікає, що збільшення витрати газоповітряного потоку на одиницю середовища, що нагрівається, при встановленій потужності відбору теплоти з охолоджуваної поверхні печі призводить до певного зростання температури гріючого середовища перед випарником.

З представлених графіків на рис. 6, витікає, що в цих умовах коефіцієнт перетворення значно зростає. При цьому зниження витрати рециркуляційної частини теплоносія в процесі експлуатації систем гарячого водопостачання з 0,3 до 0,2 робить істотніший вплив, ніж збільшення питомої витрати газоповітряного середовища, тобто G_{Π} / G_{XB} , забезпечуючи істотні значення коефіцієнта перетворення.

Очевидно, що вплив першого і другого параметрів відбивається на зростанні температури газоповітряного середовища на вході у випарник, а відповідно, і на ефективності перетворення зв'язаних енергетичних потоків.

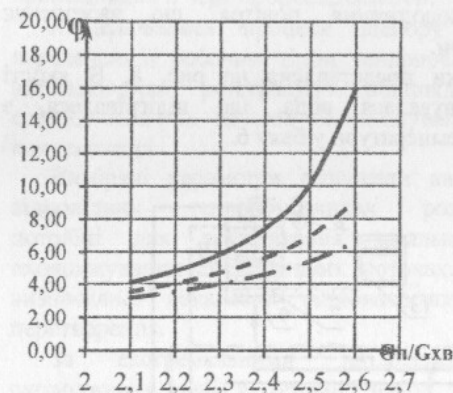


Рис. 6. Залежність коефіцієнта перетворення від співвідношення витрат гріючого теплоносія і середовища, що нагрівається:

- при $\mu=0,2$;
- - - при $\mu=0,25$;
- · - при $\mu=0,3$.

Дані представлених графіків, рис. 7, свідчать про переважне збільшення скидної частини рециркуляційного потоку, причому з нижчою температурою теплоносія, яка компенсується витратою теплоносія, що поступає від низькопотенціального джерела.

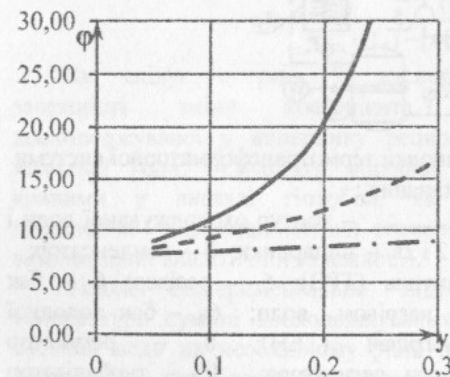


Рис. 7. Залежність коефіцієнта перетворення від співвідношення витрат теплоносія низькопотенціального і рециркуляційного потоку:

- при $t_{\Pi 1}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$:
- $t_{BX}=-10\text{ }^{\circ}\text{C}$,
 - - - $t_{BX}=-5\text{ }^{\circ}\text{C}$,
 - · - $t_{BX}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таким чином, з результатів аналізу виходить, що цілком певне балансне співвідношення скидної частини доохолоджуваного рециркуляційного потоку і частини теплоносія, що компенсується, від низькопотенціального джерела, забезпечуючи підтримку встановленої початкової температури рециркуляційного потоку на вході в укриття печі, здатне забезпечити досить високі значення коефіцієнта перетворення, реально від 8 до 15 при $y=0,15-0,2$.

П'ятий розділ присвячений експериментальному дослідженню базової і вдосконаленої систем структури з двома випарниками за визначенням достовірності концептуального підходу і умов спільного використання холодної води в якості низькопотенціального джерела енергії, спільному рециркуляційному процесі стабілізації теплогідрравлічного режиму рекуперативного теплообмінника охолодження повітря, що забезпечує необхідний відбір теплоти з поверхні печі.

Схема експериментальної установки представлена на рис. 8. В якості рециркуляційного потоку використовувалася вода, що підігрівалася, з автоматичною підтримкою необхідної температури у баку 6.

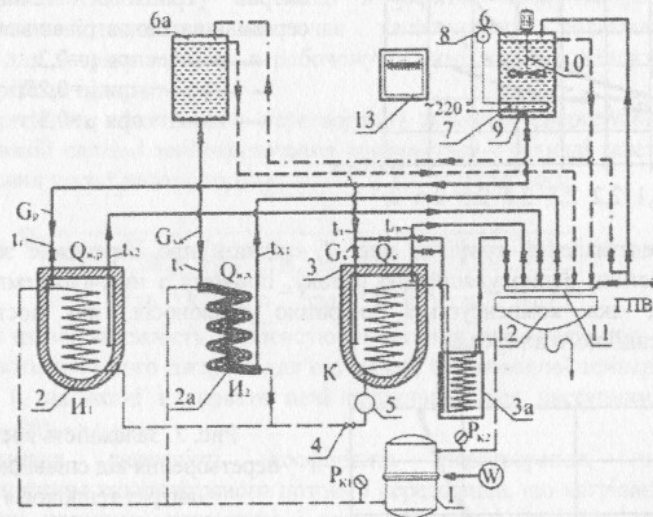


Рис.8. Схема експериментальної установки термотрансформаторної системи тепlopостачання:

— — — — пароконденсатний контур; — — — — контур охолоджуваної води і води, що нагрівається. 1 — компресор; 2 і 2а — випарники; 3 — конденсатор; 4 — автоматичний регулюючий вентиль (ТРВ); 5 — ресівер; 6 — бак постійного рівня із стабілізуючим нагрівом води; 6а — бак холодної води; 7 — трубчастий електронагрівач (ТЕН); 8 — регулятор стабілізуючого нагріву; 9 — термобалон регулятора; 10 — турбулізатор рідини з електроприводом; 11 — система виміру витрати води; 12 — раковина; 13 — електронний вимірник температур (ЕПП-0.9); 12-ти точковий з термопарами ХК; РК1, РК2 — манометри; 14 — ГПВ — лінія господарсько-питного водопроводу

Для цього в напірному баку постійного рівня 6 передбачений стабілізуючий нагрів води за допомогою трубчастого електричного

нагрівача 7 з автоматичним регулятором 8. Рівень розміщення баків 6 і 6а забезпечує регульоване проходження необхідної витрати доохолоджуваної води через відповідні випарники. У системі передбачений пароконденсатний нагрів води тільки в конденсаторі без проходження її через форконденсатор.

Моделювалися процеси відбору теплоти в кожному випарнику з передачею її робочим тілом теплоносію, що проходить через конденсатор з автоматичною реєстрацією відповідних температур при встановлених співвідношеннях потоків охолоджуваної води у випарниках і нагріву її в конденсаторі.

Виміряні параметри дозволяли визначати значення теплових потоків у відповідних теплообмінниках розрахунковим шляхом, які були потрібні для знаходження загальної продуктивності по теплових і охолоджуваних енергетичних потоках. На їх основі розрахунковим шляхом визначалися показники теплонасосного циклу, у тому числі коефіцієнтів перетворення.

За екстремальними теплогідрравлічними умовами стабілізуючого охолодження печі в теплий період року ($t_{XB}=20^{\circ}\text{C}$) підтримувався режим одночасного надходження ($G=80$ кг/ч) підігрітої води до необхідної температури з баку 6 у випарник И2 і в конденсатор К з відповідною відносною витратою x рециркулюючої води через випарник И1. Залежність коефіцієнта перетворення на основі відповідних енергетичних потоків після спрощення остаточно представляється у вигляді

$$\varphi = \frac{(t_{ГВ} - t_T)}{(t_{ГВ} - t_T) - [x(t_T - t_{Х2}) + (t_X - t_{Х1})]} \quad (6)$$

Як слідує з рис. 9, експериментально підтверджена аналітична залежність зміни коефіцієнта перетворення від співвідношення доохолоджуваної у випарнику рециркуляційної частини води і початкової холодної води. Результати обробки експериментальних даних описуються кривими у вигляді гіпербол, які задовільно узгоджуються з 5-12% відхиленням від встановлених значень коефіцієнтів перетворення по раніше встановленій аналітичній залежності.

Також експериментально підтверджена закономірність стабілізації температури суміші доохолоджуваних потоків початкової і рециркуляційної частини води на необхідному рівні перед водоповітряним теплообмінником, достатньому для підтримки початкової температури рециркуляційного повітря, що стабілізує охолодження обертової печі незалежно від зміни кліматичних умов впродовж року.

Визначена техніко-економічна ефективність утилізації теплоти і рекомендований її розподіл в системах тепlopостачання. Зважаючи на порівняно високу вартість основного устаткування пароконденсатних теплових насосів, вживаних в якості високоефективних засобів енергозбереження, представляє інтерес співвідношення енергетичної компоненти теплонасосної установки в

загальному потоці утилізованої теплоти, генерованої в розробленій системі для теплопостачання.

Встановлено, що найменша теплонасосна складова в загальному генерованому потоці відзначається при роботі системи без переохолодження рециркуляційного потоку, яка знаходиться в межах від 7 до 15% при відповідних початкових температурах рециркуляційного потоку після укриття печі 150 і 75 °C.

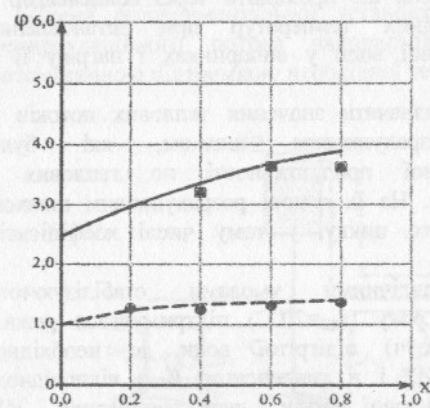


Рис. 9. Залежність коефіцієнта перетворення від інтенсивності рециркуляції середовища, що нагрівається, і початкової температури холодної води :

— — — — — аналітично встановлена залежність при $t_{хв}=20^{\circ}\text{C}$;
 ■ — — — — — узагальнені експериментальні значення, при яких підтримувалася початкова температура $t_{хв}=t_{г}=22,8; 25,0; 26,0^{\circ}\text{C}$, відповідно при $x=0,4; 0,6$ і $0,8$;

— — — — — аналітично встановлені значення при $t_{хв}=5^{\circ}\text{C}$;

⊙ — — — — — експериментальні значення, при яких підтримувалася початкова температура $t_{хв}=t_{г}=9; 8,5; 8,5$ і $7,0^{\circ}\text{C}$, відповідно при $x=0,2; 0,4; 0,6$ і $0,8$.

В той же час його доохолодження у випарнику з 10 до 0 °C відкриває можливість істотного збільшення загального енергетичного потоку на 16 - 37 % для промислового теплопостачання. Показана нелогічність глибокого охолодження рециркуляційного потоку, при якому теплонасосна складова істотно зростає, передусім від рівня зниження температури рециркуляційного потоку охолодження печі, що поступає від укриваних ділянок, з нижчою температурою її поверхні.

Окрім головного показника прямої техніко-економічної ефективності застосування ТНУ розроблених систем за рахунок зниження витрати первинного палива зроблена оцінка еколого-економічної складової ефективності, пов'язаної з охороною довкілля.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Базова структура запропонованої термотрансформаторної системи стабілізуючого охолодження печі (пат. №88327) в порівнянні з відомою водоповітряною системою утилізації теплоти відрізняється розширенням використання енергії охолодження печі з нижчим температурним потенціалом, що відбирається на інших ділянках за межами зони випалення, а також

можливістю використання теплоти холодної води в якості низькопотенціального джерела для підвищення енергетичного ресурсу промислового теплопостачання.

2. В результаті аналітичного дослідження запропонованої системи встановлена закономірність зростання температури абонентського теплоносія і коефіцієнта перетворення при більш високих температурах рециркуляційного повітряного потоку, що поступає з відповідних укриваних ділянок обертової печі. Підтверджена доцільність використання теплоти холодної води в міжопалувальний період року в якості низькопотенціального джерела, що забезпечує збільшення коефіцієнта перетворення.

3. На основі результатів аналітичного дослідження вдосконаленої (пат. №61472) системи встановлена нова залежність коефіцієнта перетворення, що додатково враховує параметри зв'язаних газоповітряних потоків з досягненням більш високих його значень при збільшенні рециркуляційної частини води в теплий період року.

4. Дослідженням ефективності вказаної системи, працюючої в спільному режимі опалювання і гарячого водопостачання, встановлено, що її ефективність зростає при збільшенні витрати теплоносія на гаряче водопостачання, а також зі зниженням температури теплоносія в системі опалювання, як для розрахункових умов, так і в процесі експлуатаційного регулювання.

5. Аналітичним дослідженням системи з доохолодженням рециркуляційного потоку (пат. №101512) встановлені початкові і режимні умови, що сумарно збільшують ефективність промислового теплопостачання з досягненням коефіцієнта перетворення до 7. Виявлено раціональне поєднання параметрів експлуатаційного режиму, при яких забезпечується коефіцієнт перетворення до 12.

6. Експериментально підтверджені умови стабілізації температури і загальної витрати енергоносія при зміні співвідношення доохолоджуваної води і рециркуляційної частини потоку після рекуперативного теплообмінника. Експериментально підтверджені закономірності зміни коефіцієнтів перетворення від інтенсивності часткової рециркуляції при різній температурі холодної води, які описуються сімейством гіпербол. Узагальненим результатом підтверджена концепція доцільного використання холодної води в якості низькопотенціального джерела енергії в спільному процесі доохолодження рециркуляційного потоку.

7. Зважаючи на порівняно високу вартість устаткування ТНУ зроблена енергетична оцінка її компоненти в загальному потоці утилізованої теплоти, яка складає від 7 до 15%. Обґрунтована доцільність використання енергії суміжних газоповітряних потоків з температурою 20-40 °C з доохолодженням рециркулюючого повітря до 0 °C, що дозволяє збільшити енергетичний ресурс промислового теплопостачання до 37% при відповідному зростанні утилізованого енергетичного потоку ТНУ до 16-24%. Енергетична ефективність застосування розроблених систем на

10-15% збільшує раніше встановлену потужність (0,88 - 7,8 МВт) теплопостачання. Зменшення кількості спалюваного палива за рахунок утилізації енергії для теплопостачання відповідно підвищує міру екологічної ефективності печей внаслідок скорочення хімічного і теплового забруднення довкілля.

Список опублікованих праць

1. Петраш, В. Д. Повышение качества теплоснабжения и энерготехнологической эффективности обжиговой печи в процессе термотрансформаторной утилизации теплоты [Текст] / В. Д. Петраш, И. В. Сорокина (И. В. Чернышева), Д. В. Басист // Вісн. ОДАБА. – Одеса: ОДАБА. – 2007. – Вип. № 28. – С. 255 – 261.

Внесок здобувача: ідея роботи, розробка системи, побудова математичної моделі та вирішення задачі, висновки.

2. Петраш, В. Д. Повышение энерготехнологической эффективности вращающейся печи и качества теплоснабжения на основе термотрансформаторного цикла утилизации теплоты [Текст] / В. Д. Петраш, И. В. Сорокина (И. В. Чернышева), Д. В. Басист // Энерготехнологии и ресурсосбережение. Науч.-техн. журн. Ин-та Газа НАН Украины. – К., - 2008. – № 4. – С. 22 – 25.

Внесок здобувача: концепція та суть роботи, розробка системи та вирішення задачі за темою, висновки.

3. Петраш, В. Д. Промышленное теплоснабжение на основе термотрансформаторного цикла утилизации теплоты [Текст] / В. Д. Петраш, И. В. Сорокина (И. В. Чернышева), Д. В. Басист // Тез. докл. науч. – практ. конф. «Энергоэффективность Одещины и ее будущее». – Одесса: XVI международ. выст. «Ваш дом – Одесса». – 2008. – С. 267 – 268.

Внесок здобувача: зміст роботи, устрій системи, очікувані результати, висновки.

4. Петраш, В.Д. Энергоэффективность теплонасосного теплоснабжения с двигателем внутреннего сгорания [Текст] / В.Д. Петраш, Д.В. Басист, И.В. Сорокина (И. В. Чернышева) // Вісн. ОДАБА. – Одеса: ОДАБА. – 2008. – Вип. № 30 – С. 243–249.

Внесок здобувача: розробка вдосконаленої схеми системи, математичне узагальнення моделі та вирішення задачі, графічне упорядкування.

5. Пат. 39279 Україна, МПК (2009), F24H 6/00. Коллектор відбору теплоти ґрунту для теплонасосних систем теплопостачання [Текст] / Петраш В.Д., Лісковська Л.О., Басист Д.В., Сорокіна І.В. (Чернишова І. В.) (Україна); заявл. та власн. пат. Петраш В.Д., Басист Д.В., Лісковська Л.О., Сорокіна І. В. (Чернишова І. В.). – № u200805727; заявл. 30.04.2008; опубл. 25.02.2009, Бюл. №4.

Внесок здобувача: ідея винаходу, аналіз існуючих рішень, створення схеми та розробка системи, складення формули винаходу.

6. Пат. 88327 Україна, МПК (2009), F27D 9/00, F25B 29/00, F27B 9/00 Система стабілізуючого охолодження печі на основі термотрансформації теплоти, яка утилізується [Текст] / Петраш В.Д., Сорокіна І.В. (Чернишова І.В.). Басист Д.В. (Україна); заявл. та власн. пат. Петраш В.Д., Сорокіна І.В. (Чернишова І.В.), Басист Д.В. – № a200704181; заявл. 16.04.2007; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.

Внесок здобувача: ідея стосовно вдосконалення, розробка системи, складення формули винаходу.

7. Петраш, В.Д. Сравнительный анализ энергетической эффективности утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха [Текст] / В.Д. Петраш, И.В. Сорокина (И. В. Чернышева), А. А. Поломанный // Вісн. ОДАБА, - Одеса: ОДАБА. – 2010. – Вип. №37. – С. 272 – 279.

Внесок здобувача: обґрунтування та задум роботи, аналітичний опис узагальненими залежностями схем утилізації, вирішення задачі, висновки.

8. Пат. 61472 Україна, МПК (2011.01), F27B 9/00, F23J 15/00. Система теплопостачання на основі термотрансформації енергії стабілізуючого охолодження печі та низькопотенціальних джерел [Текст] / Петраш В.Д., Чернишова І. В. (Україна); заявл. та власн. пат. Од. держ. акад. буд-ва та арх. - № u201014064; заявл. 25.11.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.

Внесок здобувача: ідея вдосконалення моделі винаходу, розробка системи, участь у складенні формули винаходу.

9. Чернышева, И. В. Условия высокоэффективного теплоснабжения на основе термотрансформации интегрированной энергии охлаждения печи и низькопотенціальних источников [Текст] / И. В. Чернышева // Вісн. ОДАБА. – Одеса: ОДАБА. – 2012. – Вип. №45 – С. 290 – 298.

10. Чернишова, І. В. Теплопостачання на основі інтеграції термотрансформованої енергії охолодження печі та низькопотенціальних джерел [Текст] / І. В. Чернишова // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. Наук.-техн. зб. КНУБА. – Київ: КНУБА. – 2012. Вип. №16. – С. 84-89.

11. Пат. 101512 Україна, МПК (2013.01), F27D 9/00, F24D 17/02 (2006/01), F25B 29/00, F23J 15/00, F24F 5/00. Система теплопостачання на основі термотрансформованої енергії охолодження печі та переохолодження теплоносія низькопотенціальних джерел [Текст] / Дорофєєв В. С., Петраш В. Д., Чернишова І. В., Постоловський Ю. Л. (Україна); заявл. та власн. пат. Од. держ. акад. буд-ва та арх. - № a 2011 01371; заявл. 07.02.2011; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.

Внесок здобувача: співавтор задуму винаходу, аналіз засобів, устрою по створенню та розробці системи, участь у складенні формули винаходу.

12. Петраш, В. Д. Зависимость эффективности преобразования энергетических потоков от удельного расхода воздуха в системе стабилизирующего охлаждения вращающейся печи для промышленного теплоснабжения [Текст] / В. Д. Петраш, И. В. Чернышева // Вестн. ГТТУ им. Сухого П. О. Респ. Беларусь. – Гомель: ГТТУ – 2013. - Вып. 4(55). – С. 72 – 78.

Внесок здобувача: обґрунтування засобу переохолодження, розробка системи, аналітичне вирішення задачі, висновки.

АНОТАЦІЯ

Чернишова І.В. Теплопостачання на основі термотрансформованої енергії охолодження обертової печі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2014 р.

Робота присвячена теоретичному обґрунтуванню і розробці енергозбережної технології термотрансформаторного теплопостачання на основі енергії регульованого охолодження обертових печей. В результаті дослідження базової структури розроблені нові системи (пат. №88327) теплопостачання з рекуперативно-термотрансформаторною утилізацією теплоти стабілізуючого охолодження обертових печей і суміжних газоповітряних потоків. Встановлені нові залежності коефіцієнта перетворення для відповідних систем, що містять незалежні початкові умови і режимні параметри, які дозволяють здійснювати пошук раціональних умов роботи у взаємозв'язку з системами теплотехнологічного і комунально-побутового теплопостачання. Показано, що ефективність систем зростає зі збільшенням витрати теплоносія на водопостачання, а також при зниженні температури теплоносія в системі опалювання, як для розрахункових умов, так і в процесі експлуатаційного регулювання.

Запропоновані і розроблені нові технічні рішення багатofункціональних енергозбережних комплексів з використанням суміжних газоповітряних потоків, що забезпечують збільшення енергетичного потенціалу промислового теплопостачання на 16-37%. Встановлено раціональне поєднання початкових умов, які забезпечують значення коефіцієнта перетворення 7 - 12.

Ключові слова: теплопостачання, термотрансформація, обертові печі, стабілізація теплового режиму, коефіцієнт перетворення.

АННОТАЦИЯ

Чернышова И. В. Теплоснабжение на основе термотрансформированной энергии охлаждения вращающейся печи. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 – техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. – Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2014 г.

Работа посвящена теоретическому обоснованию и разработке энергосберегающей технологии термотрансформаторного теплоснабжения на основе энергии регулируемого охлаждения вращающихся печей. В результате исследования базовой структуры разработаны новые системы (пат. №88327) теплоснабжения с рекуперативно-термотрансформаторной утилизацией теплоты стабилизирующего охлаждения вращающихся печей и смежных газозвдушных потоков. Установлены новые зависимости коэффициента преобразования для соответствующих систем, содержащие независимые исходные условия и

режимные параметры, которые позволяют производить поиск рациональных условий работы во взаимосвязи с системами теплотехнологического и коммунально-бытового теплоснабжения. Показано, что эффективность систем возрастает с увеличением расхода теплоносителя на водоснабжение, а также при снижении температуры теплоносителя в системе отопления, как для расчетных условий, так и в процессе эксплуатационного регулирования.

Предложены и разработаны новые технические решения multifunctionальных энергосберегающих комплексов с использованием смежных газозвдушных потоков, обеспечивающих увеличение энергетического потенциала промышленного теплоснабжения на 16-37%. Установлено рациональное сочетание исходных условий, которые обеспечивают значения коэффициента преобразования 7 – 12.

Экспериментально подтверждены закономерности изменения коэффициентов преобразования от интенсивности частичной рециркуляции при различной температуре холодной воды, которые описываются семейством гипербол.

Ключевые слова: теплоснабжение, термотрансформация, вращающиеся печи, стабилизация теплового режима, коэффициент преобразования.

RESUME

Chernysheva I. V. The heat supply on the basis of the thermotransformed energy of cooling of the rotating furnace. – Manuscript

The thesis is submitted to the Candidate of science degree technical on specialty 05.14.06 – technical thermophysics and industrial power system. – Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2014.

The thesis is devoted to theoretical reasons and development of energy saving technology of a thermotransformer heat supply on the basis of energy of adjustable cooling of rotating furnaces. As a result of research the basic structure the new systems (Pat. # 88327) of heat supplies with a recuperative and thermotransformer utilization of warmth of stabilizing cooling of rotating furnaces and adjacent air-gas flows are developed. New dependences of conversion factor for the relevant systems, containing independent initial conditions and regime parameters which allow to run for search of rational working conditions in correlation with systems of a heat technological and household heat supply are set. It is shown that efficiency of the systems increases with increase in the expenditure of the heat carrier at water-supply, and also when the temperature of the heat carrier in heating system goes down both for rated conditions, and in the course of operational regulation.

New technical solutions of multifunction energy saving complexes with use of the adjacent air-gas flows providing increase in an energy potential of an industrial heat supply for 16-37% are proposed and developed. The rational combination of the initial conditions which provide values of conversion factor 7 – 12 is set.

Keywords: the heat supply, the thermotransformation, rotating furnaces, stabilizing of a thermal mode, conversion factor.