

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Новаківський Євген Валерійович

662.987:697.7

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В
КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Спеціальність 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті (ОНПУ) Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник:

Доктор технічних наук, професор Денисова Алла Євсїївна, професор кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, Одеського національного політехнічного університету Міністерства освіти та науки України.

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор Кудря Степан Олександрович, заступник директора з наукової роботи Інституту відновлювальної енергії Національної академії наук України.

2. Кандидат фізико-математичних наук, доцент Козлов Олег Максимович, завідувач кафедри енергопостачання та фізики Кримської національної академії природоохоронного та курортного будівництва Міністерства освіти та науки України.

Провідна установа – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут” Міністерства освіти та науки України.

Захист відбудеться 18.01. 2005 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.052.04 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою:

65044, м. Одеса, проспект. Шевченка, 1, тел. 288-205

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, проспект. Шевченка, 1

Автореферат розісланий 17 грудня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Гогунський В.Д.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Екологічний стан довкілля та дефіцит паливно-енергетичних ресурсів, який гостро відчувається в усьому світі, викликає необхідність термінового впровадження енергозберігаючих екологічно чистих технологій, згідно Закону України „Про енергозбереження” та “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”. Основним напрямком державної політики України в галузі енергозбереження є створення енергозберігаючої структури виробництва, де комплексно вирішуються питання енергозбереження з урахуванням екологічних вимог.

Найбільш перспективним для України, з урахуванням особливостей її кліматичних умов, є підвищення ефективності використання сонячної енергії в об’єктах промислового теплопостачання. Впровадження сонячних колекторів типа „дельта-система”, які використовуються як енергетично активні сонячні приставки для котлів, здатне підвищити частку заміщення органічного палива за рахунок сонячної енергії та зменшити об’єм теплових викидів продуктів спалення в довкілля.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Основні теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи одержані при виконанні НДР у відповідності до Закону України “Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки” у межах напрямку 3. “Збереження навколишнього середовища та сталий розвиток” та напрямку 6. “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі”, у напрямку міжнародної програми INTAS, яка спрямована на розробку енергозберігаючих та екологічно чистих технологій. Зміст і тематика відповідають також задачам державної програми “TASIS” Енергетичного Центру ЄС в Україні.

Мета роботи – підвищення ефективності комбінованих систем промислового теплопостачання з сонячними приставками типа „дельта-система” для підвищення частки заміщення теплового навантаження котельних, вирішення проблем енергозбереження та захисту довкілля на основі математичного та фізичного моделювання теплових процесів в елементах комбінованих систем теплопостачання (КСТ).

Відповідно до поставленої мети були сформульовані та розв’язані наступні задачі: – узагальнення геліотехнічних ресурсів різних регіонів України;

– теоретичні та експериментальні дослідження енергетичної ефективності сонячних приставок типа „дельта-система” (ДС), які працюють сумісно з традиційними теплогенеруючими установками;

– вибір раціональної конструкції та режимів роботи комбінованої системи теплопостачання з сонячними приставками типа „дельта-система”, які здатні працювати надійно та мають високі енергетичні характеристики, з урахуванням кліматичних умов регіону експлуатації;

– теоретичні та експериментальні дослідження впливу схемних рішень та режимів роботи комбінованої системи теплопостачання з сонячними приставками типа „дель-

та-система” на енергетичну ефективність та погодженість її роботи з теплогенеруючою установкою з урахуванням кліматичних умов регіону експлуатації;

– теоретичні та експериментальні дослідження короткострокових та довгострокових можливостей сонячних приставок типа „дельта-система”, які працюють сумісно з котлом у складі КСТ, щодо забезпечення максимального заміщення традиційної енергії з урахуванням кліматичних умов регіону експлуатації;

– розробка емпіричних залежностей, алгоритмів, програм і рекомендацій для практичного використання сонячних приставок типа „дельта-система” у складі комбінованої системи теплопостачання.

Об’єктом дослідження є комбіновані системи промислового теплопостачання з сонячними приставками типа „дельта-система”.

Предметом дослідження є теплові процеси в елементах комбінованої системи промислового теплопостачання з сонячними приставками типа „дельта-система”, які забезпечують зростання частки заміщення теплового навантаження теплогенеруючих установок за рахунок сонячної енергії та покращують екологічний стан довкілля. Аналіз теплових процесів дозволяє розв’язати актуальну науково-технічну проблему підвищення ефективності використання КСТ для енергозберігаючих технологій.

Наукова новизна роботи міститься в одержанні результатів теоретичних та практичних досліджень, спрямованих на підвищення ефективності використання комбінованої системи промислового теплопостачання з сонячними приставками типа „дельта-система” до теплогенеруючих установок в кліматичних умовах України і полягає в тому, що:

– розроблені науково-технічні засади раціонального використання сонячних приставок типа „дельта-система” для теплогенеруючих установок КСТ, які базуються на теоретичних та експериментальних дослідженнях;

– на основі аналізу теоретичних та експериментальних даних розроблена методика оцінки енергетичної ефективності сонячних приставок типа „дельта-система” до теплогенеруючих установок з урахуванням конструктивних, схемних рішень і режимів роботи комбінованої системи теплопостачання;

– встановлені техніко-економічні, екологічні показники та можливості КСТ, яка працює з сонячними приставками типа „дельта-система”, до заміщення традиційної енергії з урахуванням кліматичних умов регіону експлуатації.

Практична значимість одержаних результатів. Одержані теоретичні та експериментальні результати дозволяють досягти раціональних енергетичних характеристик КСТ. Одержані результати дозволили розпочати впровадження комбінованої системи теплопостачання з сонячними приставками типа „дельта-система” для індивідуальних та промислових теплових споживачів.

Результати роботи були впроваджені: у територіальному управлінні державної інспекції з енергозбереження Черкаської області у вигляді рекомендацій щодо розвитку та вдосконалення різних форм енергозбереження за рахунок використання сонячних

приставок до котельних установок з метою економії паливно-енергетичних ресурсів, які ввійшли до регіональної програми енергозбереження; на виробничій базі Черкаської ТЕЦ та в курортно-готельному комплексі „Россава” м. Черкаси. Результати роботи використовуються в курсовому проектуванні, в практичних і лабораторних роботах кафедри ТЗНЕ ОНПУ для студентів спец. 7.090504 “Нетрадиційні джерела енергії”, які автор проводив в період навчання в аспірантурі та які включені до звіту ДБ НДР 204-41 Міністерства освіти та науки України.

Особистий творчий внесок здобувача. Наукові положення, що містяться в дисертації, одержані автором самостійно. Теоретичні та експериментальні дослідження виконані особисто, а впровадження розробок здійснювалось при безпосередній участі автора. Наукова праця [1] виконана одноосібно, в роботах [2,3,4,5,6,7,9,8,9,10], що написані в співавторстві, автору належить розробка та аналіз математичних моделей, опрацювання та аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень, порівняльний аналіз довгострокових характеристик „дельта-системи” та звичайних типів сонячних колекторів, розробка рекомендацій щодо проектування сонячних приставок типа “дельта-система” для комбінованих систем промислового теплопостачання.

Апробація. Основні результати дисертації обговорювались на:

IV Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми економії енергії” (м. Львів, Україна, 2003); 61-й науково-технічній конференції „Енерго- та ресурсозберігаючі технології в системах життєзабезпечення ” (м. Одеса, Україна, 2003); Міжнародній науково-практичній конференції “Україна наукова 2003” (м. Днепропетровск, Україна, 2003); Міжнародній науково-технічній конференції „Нові процеси та їх моделі в ресурсо- та енергозберігаючих технологіях (м. Київ, 2003).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 наукових праць, з них 6 статей (1 одноосібно) у фахових виданнях, визнаних ВАК України, 3 повних текстів доповідей на міжнародних наукових конференціях, 1 тези доповідей на міжнародній науковій конференції.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п’яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Викладена на 171 стор. (в т.ч. 115 стор. тексту), містить 43 рисунків на 15 стор., 8 таблиць на 4 стор., список використаних джерел з 109 найменувань на 10 стор., 5 додатків на 27 стор.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів з урахуванням сучасних вимог енергозберігаючих технологій в галузі автономного та комбінованого альтернативного теплопостачання, обговорюється особистий внесок здобувача та містяться відомості щодо апробації роботи.

В першому розділі проаналізовано стан та перспективи розвитку систем альтернативного теплопостачання на базі сонячної енергії відповідно з призначенням та умовами

експлуатації. Розглянуті найбільш перспективні типи сонячних колекторів (СК) та схемні рішення автономних та комбінованих систем альтернативного теплопостачання.

Обґрунтовано можливість використання сонячних колекторів типа „дельта-система” (рис. 1) як приставок до котлів у складі комбінованих систем теплопостачання,

<p>Рис. 1. Схема сонячних колекторів типа „дельта-система” для КСТ: а) СК плоского типу; б) двогранна ДС з орієнтацією захід-схід; в) багатогранна ДС з центральною частиною; г) двогранна ДС зі змінюваним азимутальним кутом.</p>	<p>здатних забезпечити більшу тривалість періоду активного сприйняття сонячного випромінювання, підвищити надійність, енергетичну та екологічну ефективність теплозабезпечення споживачів. Представлено попередній аналіз техніко-економічних переваг використання КСТ у зрівнянні з автономними системами сонячного теплопостачання, який показує, що є всі підстави очікувати від КСТ з ДС більшої енергетичної ефективності для кліматичних умов України.</p>
---	--

В другому розділі представлені результати теоретичних досліджень та виконано математичне і числове моделювання основних енергетичних характеристик, які впливають на ефективність роботи комбінованих систем теплопостачання з сонячними приставками типа ДС. Виконано зіставлення загальновідомих методик розрахунку енергетичної ефективності сонячних приставок для КСТ та визначені коефіцієнти втрат енергії сонячними приставками (СК та ДС) до котлів для різних режимів роботи (рис. 2, 3). Аналіз дозволив виявити розбіжність результатів, одержаних за вказаними методиками, що базуються на аналітичних та емпіричних способах визначення температури теплоносія на виході і коефіцієнтів втрат, та обґрунтувати необхідність подальшого уточнення показників енергетичної ефективності сонячних приставок різного типу для КСТ теоретичним та експериментальним шляхом, з метою одержання достовірних даних щодо їх теплопродуктивності та раціональних температурних режимів роботи.

Рис. 2. Залежність коефіцієнта втрат ДС протягом доби (аналітична методика)

Рис. 3. Графік коефіцієнта втрат ДС протягом доби (емпірична методика)

Зіставлення результатів визначення коефіцієнтів енергетичної ефективності сонячних приставок звичайного типу та ДС, показало, що коефіцієнт тепловіддачі між пластиною абсорбера і теплоносієм залежить від схемних рішень та режимів роботи КСТ, які, в свою чергу, залежать від витрати теплоносія.

Виконано аналіз методик розрахунку довгострокових енергетичних характеристик сонячних колекторів, які дають можливість визначати частку заміщення традиційного палива за рахунок використання сонячних приставок КСТ.

На основі балансу енергії сонячної приставки:

$$\Delta Q_{\text{ак}} = Q_{\text{п}} - Q_{\text{н}} + Q_{\text{доп}}, \quad (1)$$

та з урахуванням того, що величиною $\Delta Q_{\text{ак}}$, яка протягом місяця змінюється мало, у порівнянні з іншими членами рівняння (1), можна знехтувати, для визначення середньомісячної частки заміщення традиційної енергії f , яка забезпечується сонячною приставкою КСТ, використано співвідношення:

$$f = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{доп}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{н}}}. \quad (2)$$

Середньомісячна частка заміщення залежить від двох безрозмірних параметрів X та Y :

$$X = \frac{F_r \cdot A_{\text{ск}} \cdot U_L \cdot (100 - t_a) \cdot n}{Q_{\text{н}}}, \quad (3)$$

$$Y = \frac{F_r \cdot (\bar{\tau}\alpha) \cdot \bar{H} \cdot n \cdot A_{\text{ск}}}{Q_{\text{н}}}. \quad (4)$$

Фізичний зміст параметра X міститься в тому, що він показує частку теплових втрат сонячною приставкою, при базовій температурі абсорбера, в загальному тепловому навантаженні, а для параметра Y фізичний зміст полягає в тому, що він показує частку заміщення теплового навантаження за рахунок сонячної енергії.

Рис. 4. f -діаграма сонячної приставки типу ДС для КСТ

Встановлено, що для сонячної приставки типу ДС для КСТ справедливим є співвідношення, яке дозволяє розрахувати частку заміщення:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,65 \cdot X -$$

$$0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \quad \text{за умов:}$$

$$(\tau\alpha)_{\text{п}} = 0,6 \dots 0,9; F_r \cdot A_{\text{ск}} = 5 \dots 120 \text{ м}^2; U_L = 2,1 \dots 8,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); s = 30 \dots 90 \text{ град.}; X = 0 \dots 18; Y = 0 \dots 3; 0,07 \cdot X \leq Y \cdot (K \cdot F)_{\text{зд}} = 83 \dots 667 \text{ Вт}/\text{К}.$$

Результати числового моделювання представлені на рис. 4.

При оцінці інших способів визначення коефіцієнту заміщення традиційної енергії за рахунок використання сонячних приставок КСТ, що базуються на Φ -діаграмі та $\bar{\Phi}, f$ -

діаграмах вважається, що густина потоку інсоляції H_i , яка перебільшує її критичний рівень $H_{кр} = \frac{U_L}{(\tau\alpha)} (T_{тн} - T_{в})$, є часткою корисно використаної сонячної енергії.

Довгострокова теплопродуктивність ДС за розрахунковий період роботи КСТ:

$$Q = A_{ск} \cdot F_r \cdot (\tau\alpha) \cdot \frac{\sum_i |H_i - H_{кр}| \cdot \Delta\tau_i}{\sum_i \Delta\tau} \quad (5)$$

Ефективність використання сонячної енергії протягом години за добу дорівнює усередненій за годину частці густини потоку сонячного випромінювання, що визначена за довгостроковий період часу в заданому регіоні, яка перебільшує критичний рівень густини потоку сонячного випромінювання ($H_{кр}$):

$$\bar{\Phi} = \frac{\sum_n \sum_i |H_i - H_{кр}| \cdot \Delta\tau_i}{\bar{H} \cdot n} \quad (6)$$

Тоді теплопродуктивність сонячної приставки за довгостроковий період роботи КСТ визначається адитивним методом:

$$Q_n = A_{ск} \cdot F_r \cdot (\bar{\tau\alpha}) \cdot \sum_n \sum_i |H_i - H_{кр}| = A_{ск} \cdot F_r \cdot (\bar{\tau\alpha}) \cdot \bar{H} \cdot n \cdot \bar{\Phi} \quad (7)$$

Зіставлення всіх загальновідомих методів визначення теплопродуктивності СК на основі $\bar{\Phi}$ - та $\bar{\Phi}, f$ -діаграм показало, що вони можуть бути використані за умов, коли $H_{кр}$ є постійною протягом дня. У разі застосування сонячних приставок типу ДС КСТ, які переважно працюють в умовах вимушеної циркуляції, коли витрата теплоносія $G_{тн}$ і критична інсоляція $H_{кр}$ є змінними протягом доби, найбільш доцільним для визначення теплопродуктивності та енергетичної ефективності КСТ є використання f -методу.

На основі рівняння теплового балансу сонячної приставки КСТ:

$$\frac{dt}{dy} + \frac{U_L \cdot B_{ск}}{G_{тн} \cdot c_{тн}} \cdot t - \frac{B_{ск} \cdot ((\tau\alpha)_{ск} \cdot H \cdot R + U_L \cdot t_a)}{G_{тн} \cdot c_{тн}} = 0 \quad (8)$$

яке в роботі вирішено засобами MathCad, одержана математична модель зміни температури теплоносія на виході сонячної приставки, яка подальше використана для числового моделювання теплових процесів в ДС та СК:

$$t = t_p - e^{-\frac{U_L \cdot A_{ск}}{G_{тн} \cdot c_{тн}}} \cdot (t_p - t_{вх}) \quad (9)$$

В третьому розділі виконано аналіз енергетичної ефективності КСТ з сонячними приставками (плоскими СК та ДС), яка залежить від внутрішніх факторів (ККД СК та ДС, теплових втрат БА та комунікацій) та зовнішніх факторів (режимів роботи сонячної приставки, схемних та конструктивних рішень. Розглянуті режими роботи КСТ з прямою подачею теплоносія в сонячну приставку, в одно- та двоконтурній схемі роботи КСТ з сонячною приставкою. Аналітичним шляхом визначено теплопродуктивність сонячних приставок різного типу за умов природної та вимушеної циркуляції в контурі СК та ДС.

Аналітичним шляхом визначено, що добову теплопродуктивність сонячної приставки КСТ у випадку прямого подачі теплоносія (рис. 5) можна визначати за рівнянням:

$$Q_{\text{доб}} = c_{\text{тн}} \cdot m_{\text{тн}} \cdot t_{\text{м}} \cdot (\bar{t}_{\text{зад}} - \bar{t}_{\text{вх}}), \quad (10)$$

$$\text{де } m = \frac{2 \cdot \tau_c \cdot \psi_c \cdot K_{\text{ск}} \cdot A_{\text{ск}} \cdot \arccos(\bar{t}_{\text{зад}})}{\pi \cdot c_{\text{тн}} \cdot \ln \frac{L_t - \bar{t}_{\text{вх}}}{L_t - \bar{t}_{\text{зад}}}} \quad \text{та} \quad L_t = \frac{\sqrt{1 - \bar{t}_{\text{зад}}}}{\arccos(\bar{t}_{\text{зад}})}. \quad (11)$$

За умов вимушеної циркуляції теплоносія в одно- (рис. 6) та двоконтурній (рис. 6) схемі КСТ теплопродуктивність сонячної приставки типу ДС можна визначати за співвідношенням:

$$Q_{\text{ск}} = Q_{\text{то}} = G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} \cdot (t_{\text{р}} - t_{\text{ак}}) \cdot \Phi_{\text{N}}, \quad (12)$$

де $\Phi_{\text{N}} = \frac{(1 - e^{-N_{\text{ск}}}) \cdot (1 - e^{-N_{\text{то}}})}{1 - e^{-(N_{\text{ск}} + N_{\text{то}})}}$ – функція що залежить від витрати теплоносія та енергетичних

характеристики сонячної приставки та теплообмінника, коли $N_{\text{ск}} = \frac{U_L \cdot A_{\text{ск}}}{G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}}}$ та

$N_{\text{то}} = \frac{K_{\text{то}} \cdot A_{\text{то}}}{G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}}}$. В цьому режимі роботи температура на виході з сонячної приставки

продовж сонячного дня:

$$t(\tau) = \frac{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} \cdot t_{\text{тн}} + G_{\text{хв}} \cdot c \cdot t_{\text{хв}})}{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} + G_{\text{расх}} \cdot c)} + \exp\left(-\frac{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} + G_{\text{расх}} \cdot c)}{M_6 \cdot c} \cdot \tau\right) \cdot t_{\text{хв}} - \frac{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} \cdot t_{\text{тн}} + G_{\text{хв}} \cdot c \cdot t_{\text{хв}})}{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} + G_{\text{расх}} \cdot c)} \cdot \exp\left(-\frac{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} + G_{\text{расх}} \cdot c)}{M_6 \cdot c} \cdot \tau\right). \quad (13)$$

Рис.5. КСТ з прямою подачею теплоносія

Рис.6. КСТ з вимушеною циркуляцією теплоносія

Рис.7. КСТ з вимушеною циркуляцією теплоносія та ТО в БА

Результати числового моделювання за математичними моделями (10) – (13) наведені на графіках питомої теплопродуктивності КСТ з сонячними приставками різного типу для липня при постійній температурі теплоносія на виході сонячної приставки та змінній витраті теплоносія $G_{\text{тн}} = \text{var}$ (рис. 8, 9), де 1 – ДС, що орієнтована на південь-схід, $s=30$; 2 – СК, що орієнтований на південь, $s=20$; 3 – ДС, що орієнтована на південь-схід, $s=30$.

Рис. 8. Питома теплопродуктивність СК та ДС ($t_{\text{вх}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{\text{вих}} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$)

РРис. 9. Питома теплопродуктивність СК та ДС ($t_{\text{вх}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{\text{вих}} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Аналіз графіків показує, що при використанні сонячної приставки КСТ типу ДС вдається збільшити інтервал роботи КСТ на 1 – 1,8 години. Тривалість роботи сонячної приставки типу ДС залежить від температури теплоносія на виході з сонячного колектору. Вранці розбіжність між інтервалом роботи для СК, орієнтованого на південь (П) та

для ДС, орієнтованої на південь-схід (П-С), виявляється більшою, ніж розбіжність між інтервалом роботи ввечері для СК, орієнтованого на південь та для ДС, орієнтованої на південь-захід (П-З). Це пояснюється тепловими втратами, що залежать, перш за все, від температури навколишнього середовища. Звичайно вранці температура навколишнього повітря менше, ніж ввечері.

При нагріванні води в сонячній приставці до $t_{\text{вих}} = 40^{\circ}\text{C}$, сонячний колектор, орієнтований на П, починає працювати декілька пізніше ніж ДС, але працює більш тривалий час ввечері у порівнянні з ДС, що орієнтована на П-С, через зменшення теплових втрат та змінення кута падіння сонячного випромінювання протягом дня. Для більш високих температур вказані особливості відчуються менше, бо в частці теплових втрат переважну роль відіграє середня температура пластини абсорбера. Сумарне питоме теплове навантаження для вечірніх годин більше, ніж вранці.

Для температурних умов роботи сонячних приставок менше $t_{\text{вих}} = 40^{\circ}\text{C}$, найбільш реальних для КСТ, у літні місяці сонячна приставка типу ДС, що орієнтована на П-С починає роботу з $6^{30} - 7^{00}$, в той час, коли звичайний СК, що орієнтований строго на П, починає роботу декілька пізніше з $7^{00} - 8^{00}$. Сонячна приставка типа ДС, що орієнтована на П-З завершує роботу в $18^{20} - 19^{00}$, а СК, який орієнтований на П, завершує роботу в $17^{30} - 18^{20}$, в залежності від температури $t_{\text{вих}}$ на виході сонячної приставки.

Для більш високих температур $t_{\text{вих}} = 80^{\circ}\text{C}$ графіки (рис. 9) виявляються більш стиснутими. За цих умов СК та ДС працюють з $8^{30} - 9^{00}$ до $16^{00} - 16^{40}$ годин. Через зменшення теплових втрат, які залежать від температури доквілля, розбіжність в інтервалах роботи “дельта-системи” та СК між початком та кінцем роботи вранці та ввечері знаходиться у межах від 40 хвилин до 1 години.

На рис. 10 представлені графічні результати числового моделювання зміни корисної теплопродуктивності для сонячних приставок типа “дельта-система” та для плоских сонячних колекторів при різних кутах нахилу та при різних азимутальних кутах установки модулів сонячних колекторів, за умов, коли всі модулі СК підключені за паралельною схемою. Вода на виході підігрівається до температури $t_{\text{вих}} = 50^{\circ}\text{C}$, всі модулі СК та ДС працюють при середній температурі теплоносія, яка більше температури навколишнього середовища.

Рис. 10. Зіставлення теплопродуктивності сонячних приставок типу ДС та СК.

а)	б)
1–ДС, $s=30$ град.; $\gamma=\pm 30$ град.;	1–ДС; $s=30$ град., $\gamma=\pm 30$ град.;
2–СК. $s=25$ град., $\gamma=0$ град.	2–СК. $s=20$ град., $\gamma=0$ град.
в)	г)
1–ДС, $s=30$ град., $\gamma=\pm 40$ град.;	1–ДС; $s=30$ град., $\gamma=\pm 30$ град.;
2–СК. $s=20$ град., $\gamma=0$ град.	2–СК. $s=18$ град., $\gamma=0$ град.

З графіків зміни теплопродуктивності ДС та СК видно, що, при відповідних кутах нахилу та азимутальних кутах установки модулів СК, сонячні приставки типа “дель-

та-система” мають перевагу над плоскими СК особливо при сезонній експлуатації установки в режимі гарячого водопостачання.

У четвертому розділі наведена методика та результати експериментальних досліджень сонячних колекторів типу „дельта-система” з метою порівняння їх енергетичних характеристик з плоскими СК та зіставлення одержаних результатів з результатами числового моделювання за запропонованими математичними моделями теплових процесів в елементах КСТ, які працюють в різних режимах роботи.

Рис.11.Схема експериментальної установки
1, 3 – модулі ДС; 2 – модуль СК; 4 – напірний резервуар; 5 – гідравлічний колектор

Схема експериментального стенду для дослідження енергетичної ефективності ДС та СК (рис. 11) дозволяє визначати ККД сонячних приставок, які працюють при природній та вимушеній циркуляції, визначити температуру води на вході та виході ДС та СК, витрату теплоносія та встановити експериментальним шляхом теплопродуктивність сонячних приставок з метою оцінки адекватності запропонованих математичних моделей.

На рис. 12 представлені графіки зміни питомої теплопродуктивності сонячних приставок типу ДС та СК протягом доби $Q(t)$ (рис. 12, а, б), де криві (1, 2, 3) відповідають теоретичним даним, а криві (4, 5, 6) – експериментальним даним.

Рис.12. Питома теплопродуктивність сонячних приставок:

а)	б)
1 – ДС: П, $s=30$ град, $\gamma=50$ град;	1 – ДС: П, $s=14$ град, $\gamma=50$ град;
2 –СК: П, $s=20$ град, $\gamma=0$ град;	2 –СК: П, $s=20$ град, $\gamma=0$ град;
3 –ДС: П-3, $s=30$ град, $\gamma=-50$ град	3 –ДС: П-3, $s=14$ град, $\gamma=-50$ град
4 – ДС: П $s=30$ град, $\gamma=50$ град;	4 – ДС: П $s=14$ град, $\gamma=50$ град;
5 – СК: П, $s=20$ град, $\gamma=0$ град;	5 – СК: П, $s=20$ град, $\gamma=0$ град;
6 – ДС: П-3, $s=30$ град, $\gamma=-50$ град.	6 – ДС: П-3, $s=14$ град, $\gamma=-50$ град.

Результати обробки експериментальних даних свідчать про добре наближення експериментальних та розрахункових результатів, одержаних за запропонованими моделями. Найбільша відносна похибка вимірювання рівня води становить 12 %, витрати рідини – 3,5 %. Сумарна похибка вимірювання температури води в СК та БА термоелектричними перетворювачами ТХКР-0,2-С/Х-3 в комплекті з вторинним приладом КСП-4 становить $\Delta_T = 1,12$ К. З урахуванням результатів теоретичних та експериментальних досліджень енергетичних характеристик КСТ з сонячними приставками, були запропоновані раціональні принципи теплові схеми гарячого водопостачання типового дев’ятиповерхового будинку, які відрізняються способом підключення БА та сонячних приставок різного типу (ДС та СК) до теплогенеруючих установок (рис. 13).

а)

б)

в)

Рис. 13. Принципові теплові схеми КСТ

а) традиційна; б) з сонячними приставками; в) двоконтурна з сонячними приставками:
1, 2 – теплообмінники; 3, 8 – вентиль; 4 – споживач;
5 – модулі СК та ДС, 6 – БА; 7,8 – циркуляційний насос контуру БА; 9 – теплообмінник БА; Т та Т2-датчики температури

На базі результатів теоретичних та експериментальних досліджень КСТ було запропоновано раціональний спосіб установки модулів сонячних колекторів для прямої схеми гарячого водопостачання, визначена площа сонячних колекторів та об'єм баку-акумулятору. На рис. 14 представлені добовий графік витрати гарячої води підігрітої в сонячній приставці, яка має загальну площу $A_{ск}=62 \text{ м}^2$.

Рис. 14. Добова та середньодобова витрата гарячої води для травня:

1 – витрата гарячої води; 2 – витрата крізь ДС; 3 – середньодобова витрата гарячої води; 4 – середньодобова витрата крізь ДС.

Об'єм БА визначається максимальною різницею сумарної витрати води крізь модулі сонячних колекторів та попитом на гарячу воду протягом доби. Наприклад, результати моделювання роботи КСТ для травня показують, що необхідний БА об'ємом $7,3 \text{ м}^3$. Для визначених умов представлена гістограма (рис. 15) відносної кількості підігрітої води, яка забезпечується сонячною приставкою при температурі $35 \text{ }^\circ\text{C}$, для різних місяців.

<p>Рис.15. Відносна середньомісячна кількість підігрітої в сонячній приставці води</p>	<p>Аналіз результатів показує, що в травні та вересні вказана площа сонячних колекторів ($A_{ск} = 62 \text{ м}^2$) забезпечує заповнення 95 ... 100 % об'єму БА, а в червні та серпні цей показник – 130 ...150 %, за умови, що температура води в БА дорівнює $35 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 13, б). Для літніх місяців можливим є режим роботи сонячної приставки з більш високою температурою на виході СК, що вказує на можливість часткового розвантаження теплообмінника 2 (рис. 13,а).</p>
--	---

Для двоконтурної схеми КСТ основним питанням є визначення температури води в БА протягом дня та кількості модулів сонячних колекторів.

За даними експериментальних досліджень на дослідному примірнику ДС температура води в зворотному трубопроводі виявилась на $1,5 \dots 2 \text{ }^\circ\text{C}$ вище, ніж всередині БА.

З урахуванням експериментальних даних температуру води в БА можна визначити за рівнянням (13), яке приймає вигляд:

$$\begin{aligned}
 t(\tau) = & \frac{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} \cdot (t_{\text{тн}} - 2) + G_{\text{хв}} \cdot c \cdot t_{\text{хв}})}{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} + G_{\text{расх}} \cdot c)} + \exp\left(-\frac{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} + G_{\text{расх}} \cdot c)}{M_6 \cdot c} \cdot \tau\right) \cdot t_{\text{хв}} \\
 & - \frac{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} \cdot (t_{\text{тн}} - 2) + G_{\text{хв}} \cdot c \cdot t_{\text{хв}})}{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} + G_{\text{расх}} \cdot c)} \cdot \exp\left(-\frac{(G_{\text{тн}} \cdot c_{\text{тн}} + G_{\text{расх}} \cdot c)}{M_6 \cdot c} \cdot \tau\right)
 \end{aligned} \quad (14)$$

Аналіз графіків (рис. 16), побудованих за рівнянням (14) в функції температури холодної води на вході сонячної приставки показує, що для всіх місяців року в інтервалі часу 11⁰⁰ – 13⁰⁰ температура води в БА асимптотично наближується до 35 °С. Це пов'язано з тим, що з 9⁰⁰ годин починає зростати кількість теплоти, яка надходить до БА від СК, при одночасному зменшенні розбору гарячої води споживачами. При наближенні до заданої температури різко зростає недогрів води в БА і збільшується коефіцієнт втрат тепла сонячного колектора, через збільшення середньої температури абсорбера СК. Рішенням цієї проблеми є поділ БА на два баки, з установкою теплообмінника в основному БА (рис. 17). Коли вода в основному БА1 нагрівається до заданої температури, датчик температури Т2 вказує на необхідність відкриття вентиля 3. В цьому випадку підігріта вода подається в додатковий БА2. Основний БА в цей час заповнюється холодною водою. За сприянням датчика Т2, за рахунок витрати підігрітої і холодної води підтримується необхідна температура в баці-акумуляторі.

<p>Рис. 16. Зміна температури в БА: 1 – травень; 2 – червень; 3 – липень; 4 – серпень; 5 – вересень</p>	<p>Рис. 17. Схема з двома БА: 1 – основний БА; 2 – додатковий БА; 3 – регулюючий вентиль; 4 – ТО; 5 –насос; 6 – СК; Т1, Т2 –датчики температури</p>
---	---

Графіки зміни температури води в основному БА протягом дня представлені на рис. 18, де містяться регресивні рівняння, які описують зазначений тепловий процес.

- а) б)
- Рис. 18. Зміна температури води в основному БА протягом дня
- а) $A_{ск} = 62 \text{ м}^2$; об'єм БА1 – 4,2 м³; об'єм БА2 – 1,68 м³.
- б) $A_{ск} = 80 \text{ м}^2$, об'єм БА1 – 4,2 м³, об'єм БА2 – 2,1 м³.

Вертикальні відрізки ліній (1-2, 3-4, 5-6 та 7-8) на графіку показують добір гарячої води в додатковий БА (рис. 18, а), при відповідній добавці холодної води в основний БА1. Похилі відрізки ліній (2-3, 4-5, 6-7 і 8-9) відображають процес нагрівання води в БА1 за поточний годину.

П'ятий розділ присвячений визначенню техніко-економічних характеристик комбінованих систем теплопостачання з сонячними приставками, порівнянню КСТ з традиційними системами теплопостачання з метою визначення економічної доцільності використання КСТ. Економічна доцільність визначається показником річної економічної ефективності:

$$\mathcal{E}^{\text{год}} = \mathcal{Z}_T^{\text{год}} - \mathcal{Z}_K^{\text{год}} = (K_T \cdot E_H - C_T^{\text{год}}) - (K_K \cdot E_H - C_K^{\text{год}}).$$

Запропонована конструктивна схема КСТ, яка здатна підтримувати ефективну взаємодію сонячної приставки типу „дельта-система” з котлом (рис. 14), повинна забезпечувати максимальний коефіцієнт заміщення для зниження паливної складової витрат та мати високий ККД сонячної приставки для економії капітальних витрат на приставці. Отже, використання КСТ є економічно доцільним за умови $\mathcal{E}^{\text{год}} = \mathcal{Z}_T^{\text{год}} - \mathcal{Z}_K^{\text{год}} > 0$, а енергетична ефективність КСТ залежить від конструктивних та режимних факторів (температури підігріву води в сонячній приставці). В табл. 1 наведена методика та результати

розрахунків техніко-економічної ефективності використання КСТ з сонячними приставками типу ДС. В розрахунках прийнято, що теплогенеруюча установка працює цілорічно, забезпечуючи споживачів гарячою водою з температурою $T_T = 60$ °С, а сонячна приставка працює протягом літнього півроку. Щодо котла прийнято $\eta_T = 0,8$; $V_{y.t.} = 0,98$ т/год; $Q_{п}^{год} = 255 \cdot 10^3$ ГДж/рік; $K_T = 2 \cdot 10^6$ \$; $Q^{cp} = 22,37$ МДж/(м²·доба). Основні енергетичні характеристики сонячної приставки (F_R , τ , α , K) прийняті за розрахунковими та експериментальними даними. Врахована питома вартість СК $\bar{k}_{ск} = 50 \dots 100$ \$/м² та зміна параметру $f(T_2)$. В розрахунках враховані узагальнені кліматичні дані для України, температура повітря T_{cp}^a для піврічного літнього періоду прийнята з поправкою на тривалість сонячного сяння. Результати розрахунків вартості виробленого тепла та річної економічної ефективності КСТ для України містяться на рис. 20 та 21, звідки видно, що питома вартість СК (1 – $\bar{k}_{ск} = 50$ \$/м²; 2 – $\bar{k}_{ск} = 75$ \$/м²; 3 – $\bar{k}_{ск} = 100$ \$/м²) суттєво впливає на вартість виробленого тепла $Z_k^{год*}$ та на економічну ефективність КСТ $\mathcal{E}^{год}$.

Таблиця 1

Економічна ефективність використання КСТ з сонячними приставками для України

Температура води, °С	підігріву °С	40	45	50	55	60	65
Розрахунковий параметр	Розмірність						
$f = (T_2 - T_1)/T_T$	—	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$y = [0,5 \cdot (T_2 + T_1) - T_a]/H_c$	—	0,027	0,0308	0,0347	0,0385	0,0423	0,0461
$\eta_{СК} = F_R \cdot [(\alpha \cdot \tau) - K \cdot y]$	—	0,514	0,492	0,471	0,450	0,428	0,407
$A_{СК} = \eta_{СК}^{45} \cdot \varphi^i \cdot Q_{п}^{год} / (\eta_{СК}^i \cdot Q_{СК}^{cp})$	м ²	0	5245,9	11174,7	17554,9	24568,7	32315,2
$K_c = K_c^* \cdot A_{СК}$	млн. \$	0	0,535	1,117	1,755	2,457	3,232
$C_k^{год} = c_{y.t.} \cdot V_{y.t.} \cdot h^{год} (1 - \varphi) / \eta_T$	млн. \$	1,06	0,954	0,848	0,742	0,636	0,53
$K_k = K_T + K_c$	млн. \$	2	2,535	3,117	3,755	4,457	5,232
$Z_k^{год}$, млн. \$	млн. \$	1,259	1,207	1,159	1,117	1,082	1,053
$\mathcal{E}^{год}$	млн. \$ в рік	0	0,0525	0,1002	0,1423	0,1782	0,2067
$h_{ок} = K_c / \mathcal{E}^{год}$	років	0	10,18	11,15	12,33	13,79	15,64
$Z_k^{год*}$	\$/ГДж	4,94	4,73	4,55	4,38	4,24	4,13

Результати числового моделювання техніко-економічних показників КСТ з сонячними приставками в залежності від температури підігріву води в ДС та середньорічний економічний ефект від застосування КСТ в функції температури підігріву води в ДС для різних регіонів України наведені на рис.19 та 20.

Встановлено, що оптимальне значення частки заміщення f зміщується в бік збільшення температури води T_2 при зниженні капітальних витрат на сонячну приставку k_c тим більше, чим вище густина потоку сонячного випромінювання H .

Аналіз результатів числового моделювання техніко-економічної ефективності КСТ показує, що загальні витрати на сонячну приставку при $A_{СК} = 62$ м² дорівнюють 5663 \$, а строк окупності становить 10 років.

Рис. 19. Вартість виробленого тепла в функції температури підігріву води в ДС

Рис.20. Річний економічний ефект в функції температури підігріву води в ДС

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З урахуванням геліотехнічних ресурсів різних регіонів, найбільш доцільним для України є використання сонячної енергії в об'єктах промислового теплопостачання. Підвищення енергетичної ефективності можна досягти з рахунок використання комбінованих систем теплопостачання з енергетично активними сонячними приставками до котлів. Теоретичні та експериментальні дослідження свідчать про те, що використання сонячних приставок типу „дельта-система” для КСТ дозволяють підвищити енергетичну ефективність системи, бо збільшується частка заміщення органічного палива сонячною енергією за рахунок збільшення тривалості періоду сприйняття інсоляції та зменшення об'єму викидів продуктів спалення в довкілля.

2. Встановлено, що в КСТ найбільш раціональним є використання гнучких конструктивних рішень щодо забезпечення ефективності різних режимів роботи сонячних приставок, а саме, доцільним є сполучення низькотемпературних та високотемпературних модулів плоских СК та СК типу „дельта-система” для ступінчатого підігріву теплоносія, що знижує втрати тепла в навколишнє середовище і мінімізує грошові витрати на сонячну приставку до котла. При використанні “дельта-систем” поняття оптимального азимутального та установочного кутів не відіграє визначної ролі, бо перевагою ДС у порівнянні з плоскими СК є менша залежність від кліматичних умов, а установочний та азимутальний кути прив'язуються до графіка теплового навантаження.

3. Виконані теоретичні та експериментальні дослідження свідчать про те, що застосування сонячних приставок КСТ типу “дельта-система” дозволяє збільшити період активної роботи протягом дня від 40 хв. до 1,5 години в залежності від температурного режиму роботи КСТ. При використанні СК типу „дельта-система” як приставок до котлів ТЭЦ та бойлерів для цілей гарячого водопостачання можна замістити до 80% теплового навантаження споживачів в період літнього сонцестояння.

4. Розроблено математичну модель зміни довготривалих характеристик КСТ з сонячними приставками типу ДС, яка дозволяє визначати коефіцієнт заміщення теплового навантаження сонячною енергією на основі погодинного урахування кліматичних умов.

6. Встановлено техніко-економічні показники використання КСТ з сонячною приставкою типу ДС, визначено вартість виробленого тепла, яка є функцією температури води на виході з ДС, питомої вартості сонячного колектора та річний економічний ефект від використання КСТ. Загальні витрати на сонячну приставку площею $A_{ск}=62 \text{ м}^2$ дорівнюють 5663 \$, строк окупності – 10 років, економія природного газу за сезон – 4 тис. м^3 , зменшення емісії двооксиду вуглецю – 6,13 т/рік.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНІ У РОБОТАХ:

Публікації у фахових виданнях:

1. Новаковский Е.В. Анализ результатов экспериментальных исследований традиционных солнечных коллекторов и дельта-систем // Холодильная техника и технология . — 2004, № 1 (87). С. 45 – 48.

2. Новаковський Е.В., Денисова А.Є., Мазуренко А.С. Повышение эффективности комбинированных систем теплоснабжения с солнечными приставками // Холодильная техника и технология. – 2003, № 4(84) С. 33 – 37.
3. Новаковський Е.В., Денисова А.Є., Мазуренко А.С. Перспективы применения в условиях Украины солнечных коллекторов типа “дельта-система” // Труды Одесского политехнического университета. —2003. – Вып. 2(20). – С.69–72.
4. Новаковський Е.В., Денисова А.Є., Мазур Е.Г. Эффективность гелиоколлекторных приставок типа “дельта-система” с промежуточным экраном для комбинированных систем теплоснабжения // Экологические технологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 1 — С. 16 – 18.
5. Новаковський Е.В., Денисова А.Є., Мазур Е.Г. Энергетическая эффективность солнечных приставок к котлам комбинированных систем теплоснабжения // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – Вып. 1(21). – С. 61 – 64.
6. Новаковський Е.В., Денисова А.Є., Мазуренко А.С. Экспериментальная установка на основе грунтового теплообменника теплонасосной системы теплоснабжения // Холодильная техника и технология. – 2002, № 4 (78). С. 29 – 31.

А п р о б а ц і я р о б о т и:

1. Новаковський Е.В., Денисова А.Є., Мазуренко А.С. Анализ работы гелиоколлекторов типа “дельта система” для климатических условий Украины // Сборник материалов 61-ой научно-технической конференции “Энерго- и ресурсосберегающие технологии в системах жизнеобеспечения”. – Одесса: ОГАСА, 2003. – С. 19 – 22.
2. Новаковський Е.В., Денисова А.Є., Мазуренко А.С. Энергетические преимущества солнечных коллекторов типа “дельта-система” // Сборник материалов международной научно-практической конференции “Україна наукова 2003”, г.Днепропетровск, 16–20 червня 2003. – Т.29.–Технічні науки.– Днепропетровск-Запорожье: Изд-во "Наука и образование", 2003. – С.42– 44.
3. Новаковський Е.В., Денисова А.Є. Эколого-энергетические преимущества солнечных приставок типа “дельта-система” для нетрадиционных энерготехнологий // Материалы международной научно-технической конференции “Новые процессы и их модели в ресурсо- и энергосберегающих технологиях”, 25-26 сентября 2003, Одесса, – Киев:АТМ Украины, 2003. – С. 79 – 81.
4. Новаковський Е.В., Денисова А.Є., Мазуренко А.С. Солнечные приставки для котельных типа "дельта-система" // Сборник материалов 4-ой Международной научно-практической конференции “Проблемы экономии энергии”, 8 – 12 октября, 2003, Львов: ЛНТУ. С.193–194.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

тн – теплоносій; 1, вх – вхід; 2, вих – вихід; х.в. – холодна вода; г.в. – гаряча вода; расх – витрата; СК – плоский сонячний колектор; ДС – дельта-система; БА – бак-акумулятор; П – південь; П-С – південь-схід; П-З – південь-захід; ТО – теплообмінник; $Q_{ак}$ – середньомісячне змінення кількості теплоти в БА, Дж; $Q_{п}$ – середньомісячна корисна теплота СК, Дж; $Q_{н}$ – середньомісячне теплове навантаження споживача, Дж; $Q_{доп}$ – середньомісячна кількість теплоти, що одержана від резервного джерела, Дж; F_r – коефіцієнт відводу тепла; А – площа, м²; В – ширина, м; U_L – сумарний коефіцієнт теплових втрат СК, Вт/(м²·К); s – кут нахилу СК до горизонту, град.; γ – азимутальний кут, град.; Т та t – температура, відповідно, К та °С; (τ_{α}) – сумарна поглинальна здатність; ($\bar{\tau}_{\alpha}$) – середня сумарна поглинаюча здатність; Н – густина сумарного потоку сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Вт/м²; \bar{N} – середньомісячна денна густина потоку сумарного

сонячного випромінювання на нахилену поверхню, Вт/(м²· доба); $N_{кр}$ – критичний рівень густини потоку сонячної радіації, Вт/(м²); n – число днів; K – коефіцієнт теплопередачі Вт/(м²·К); R – коефіцієнт перерахунку сумарного потоку інсоляції з горизонтальної поверхні СК на нахилену; τ – час, година; Δt – інтервал часу, ч; G – витрата, кг/с; ψ_c – коефіцієнт хмарності; M_b – маса БА, кг; c – теплоємність, кДж/(кг·К); $Z_t^{год}, Z_k^{год}$ – витрати на виробництво одиниці теплоти традиційною системою тепlopостачання (ТСТ) та КСТ, відповідно; K_t, K_k – капітальні витрати для ТСТ та КТС, відповідно; $C_t^{год}, C_k^{год}$ – собівартість виробленого тепла для ТСТ та КТС, відповідно; $Q_{ск} Q_k$ – теплове навантаження приставки та КСТ, відповідно; $Q_n^{год}$ – річна теплопродуктивність КСТ, ГДж/рік; $\eta_{СК}^{45}$ – ККД СК при температурі $T_2 = 45$ °С; $\eta_{СК}^j$ – поточний ККД СК при зміні теплового режиму КСТ; f^i – коефіцієнт заміщення; $V_{у.т.}$ – витрата умовного палива, т/год.; η_k – ККД котла; K_t – вартість котла, \$.

АНОТАЦІЯ

Новаківський Євген Валерійович. Підвищення ефективності використання сонячної енергії в комбінованих системах промислового тепlopостачання. – Рукопис.

Дисертація представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика”, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, 2004.

Теоретично та практично обґрунтована технічна можливість створення комбінованої системи тепlopостачання (КСТ) для об’єктів промислового тепlopостачання на базі сонячних приставок типу “дельта-система” та плоских сонячних колекторів до теплогенеруючих установок. Виконано зіставлення та аналіз різних методик оцінки миттєвої ефективності сонячних приставок типу „дельта-система” та плоских СК. Виконано зіставлення та аналіз методик довгострокових характеристик дельта-систем і сонячних колекторів з позиції ефективного впровадження у практику комбінованих систем гарячого водопостачання промислових та індивідуальних споживачів.

Виконано погодинне математичне моделювання енергетичної ефективності сонячних приставок КСТ, коефіцієнта заміщення традиційної енергії для теплих місяців року на основі об’єктно - орієнтованої мови програмування Visual Basic.

Розроблено рекомендації щодо раціонального проектування сонячних колекторів типу “дельта-система” у складі КСТ. Розроблено методику, алгоритми і програми числового моделювання теплових процесів в КСТ з сонячними приставками типу “дельта-система” та з плоскими сонячними колекторами до теплогенеруючих установок.

Ключові слова: комбінована система тепlopостачання, математичне моделювання, сонячний колектор, сонячна приставка типу „дельта-система”, котельна установка.

АННОТАЦИЯ

Новиковский Евгений Валерьевич. Повышение эффективности использования солнечной энергии в комбинированных системах промышленного теплоснабжения. – Рукопись.

Диссертация представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 “Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика”, Одесский национальный политехнический университет, Одеса, 2004 г.

Теоретически и практически обоснованная техническая возможность создания комбинированной системы теплоснабжения (КСТ) для объектов промышленного теплоснабжения на базе солнечных приставок типа „дельта-система” и плоских солнечных коллекторов для котельных установок.

Выполнен сопоставление и анализ различных методик оценки мгновенной эффективности солнечных приставок типа “дельта-система” и плоских солнечных коллекторов для КСТ. Предложено два режима работы солнечной приставки КСТ:

- солнечная приставка работает при заданной техническими условиями температуре воды на выходе, что характерно для одноконтурных и двухконтурных КСТ;
- средняя температура воды на входе и выходе из солнечной приставки не превышает либо равна температуре окружающей среды, поскольку в таком режиме коэффициент потерь U_L является минимальным.

На основании анализа долгосрочных характеристик “дельта-систем” и плоских солнечных коллекторов разработаны рекомендации по практическому внедрению систем промышленного горячего водоснабжения. Разработана методика, алгоритмы и программы численного моделирования тепловых процессов в элементах КСТ. Проведено математическое моделирование эффективности солнечных коллекторов, расчет коэффициента замещения традиционной энергии для периода летнего солнцестояния на основе почасового моделирования климатических условий для каждого месяца года на объектно-ориентированном языке программирования Visual Basic.

Разработаны рекомендации по рациональному проектированию солнечных коллекторов типа “дельта-система” для КСТ. Разработана конструктивная схема КСТ, обеспечивающая эффективное взаимодействие солнечной приставки с котельной установкой.

Разработана программа расчета экономической эффективности использования КСТ для производства тепла с использованием солнечной приставки и определения стоимости произведенной теплоты в функции температуры нагрева воды в солнечной приставке и удельной стоимости СК и ДС, а также годовой экономический эффект от использования КСТ. Установлено, что удельная стоимость СК влияет на стоимость произведенного тепла и экономическую эффективность КСТ.

Выполнена оценка экономической и экологической эффективности по методике RETScreen, которая показывает, что для Украины общие затраты на реализацию КСТ с солнечными коллекторами площадью $A_{СК} = 62 \text{ м}^2$ составляют 5663 \$, а срок окупаемости – 10 лет. Экономия газа за сезон – 4 тыс. м^3 . Годовое снижение эмиссии диоксида углерода за счет внедрения солнечной приставки к котлу составляет 6,13 т/год.

Ключевые слова: комбинированная система теплоснабжения, математическое моделирование, солнечный коллектор, солнечная приставка типа „дельта-система”, котел.

SUMMARY

Novakovsky Eugen Valerevych. Increasing of efficiency of use solar energy in the combined industrial systems of heat supply. - Manuscript.

The Thesis for Candidate's Degree on Technical Science, specialty – 05.14.06 "Engineering thermal physics and industrial heat-and-power engineering ", Odessa National Polytechnic University, 2004.

Theoretically and practically proved technical opportunity of creation of the combined system industrial systems of heat supply for objects of industrial heat supply that based of solar "delta – system" prefixes for boiler installations.

The analysis of different techniques of estimation of instant efficiency of usual solar collectors and solar "delta–system" prefixes is carried out. The analysis of techniques of long-term characteristics of solar "delta–system" prefixes and usual solar collectors is carried out. Practical salvations that concerns structure of combined system industrial systems of heat supply are offered. Hourly mathematical modeling of energy efficiency of usual solar collectors and solar "delta- system" prefixes for boiler installations, modeling of replacement factor of traditional energy for warm months of the year my means of object-oriented language Visual Basic are determined. Energy characteristics of solar prefix to boiler in view of regimes of work of solar collectors at long-term work of system are determined.

Recommendations of optimum designing of usual solar collectors and solar "delta- system" prefixes for boiler installations as a main structure elements of combined industrial heat supply system are offered.

The technique, algorithms and programs of numerical modeling of thermal processes in combined industrial systems of heat supply are developed.

Key words: the combined system industrial systems of heat supply, long-term characteristics, energy efficiency, solar "delta – system" prefixes, solar collector, solar prefix, boiler installation.