

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 662.987

Шляхи підвищення енергоефективності теплопостачання районів міст за рахунок комплексної модернізації інженерних систем будівель

Г. І. Позднякова^{1✉}, Є. С. Бабаєв²¹⁻²Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна✉ e-mail: ¹aipozdniakova@gmail.comORCID: ¹<https://orcid.org/0009-0003-1132-094X>; ²<https://orcid.org/0000-0001-7388-5979>

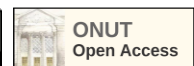
Виснаження світових паливно-енергетичних ресурсів, що викликає неминуче підвищення цін на енергоносії, як на світовому ринку, так і в Україні, загострило проблему впровадження енергозберігаючих технологій і поставило дослідження, що спрямовані на ефективне використання відновлювальних джерел енергії для цілей енергозабезпечення, в ряд стратегічних задач держави. В роботі проведено аналіз існуючих систем теплопостачання та шляхи підвищення ефективності використання існуючих енергоресурсів та зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. Показано доцільність комплексного підходу щодо впровадження енергоефективних технологій у системи теплопостачання з урахуванням особливостей режимів експлуатації будівель та інженерних систем життєзабезпечення. На основі аналізу існуючих математичних моделей та методів розрахунків режимів експлуатації різних елементів комбінованої системи теплопостачання із використанням відновлювальних джерел енергії (сонячні колектори, теплові насоси, акумулятори теплоти, тощо) наведені математичні моделі режимів роботи вказаних систем. На прикладі окремої споруди громадського призначення (навчальний корпус) проведено розрахунок режимів експлуатації інженерних систем забезпечення мікроклімату із урахуванням режимів роботи корпусу, та на основі наявної пілотної установки проведено дослідження роботи комбінованої системи теплопостачання із використанням відновлювальних джерел енергії та застосуванням акумуляторів теплоти для узгодження режимів генерації та споживання теплоти будівлею. На основі проведених досліджень отримано розподіл часток економії енергоресурсів від кожного етапу модернізації інженерних систем мікроклімату та загальної термомодернізації будівлі із застосуванням як зовнішньої теплової ізоляції так і внутрішнього екранування масивних стін.

Ключові слова: Теплопостачання; Термомодернізація; Відновлювальні джерела енергії; Системи теплопостачання; Енергозбереження; Енергоефективність.

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v60i1.2735>

© The Author(s) 2024. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Вступ

Актуальним напрямком державної політики України в галузі енергозбереження є створення енергозберігаючої структури виробництва на основі комплексного рішення питань економії та енергозбереження з урахуванням екологічних вимог та впровадження енергозберігаючих техноло-

гій [1, 2]. Виснаження світових паливно-енергетичних ресурсів, що викликає неминуче підвищення цін на енергоносії, як на світовому ринку, так і в Україні, загострило проблему впровадження енергозберігаючих технологій і поставило дослідження, що спрямовані на ефективне використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) для цілей енергозабезпечення, в ряд стратегічних за-

дач держави, оскільки в теперішній час за станом розвитку енергозберігаючих технологій Україна не досягла ще належного світового рівня [3]. В Законі України про енергозбереження, що визначає шляхи вирішення вказаних проблем, вказано на необхідність широкомасштабного впровадження екологічно чистих відновлювальних джерел енергії в сфері теплопостачання.

Одним з раціональних шляхів рішення проблеми питань економії та енергозбереження з урахуванням екологічних вимог в промисловій енергетиці є впровадження комплексного підходу щодо термомодернізації будівель та модернізації інженерних систем забезпечення мікроклімату із урахуванням режимів експлуатації. Для підвищення рівня енергоефективності та надійності енергопостачання необхідно впровадження локальних систем із використанням відновлювальних джерел енергії.

Розрахунки показують, що при переведенні на альтернативне теплопостачання 10 % індивідуальних споживачів південних регіонів України, можливо досягти економії 0,17 млн. тонн умовного палива за рік [4], а при ефективному використанні тільки сонячного випромінювання середньорічною потужністю 4300 МДж/м² можна забезпечити потреби споживачів у опаленні до 25 %, а у гарячому водопостачанні до 50 %.

Основними причинами, що стримують впровадження систем альтернативного теплопостачання, є високий рівень початкових капітальних витрат, добова та сезонна нерівномірність виробництва енергії, а також залежність від кліматичних умов. Для ефективного впровадження альтернативних систем теплопостачання необхідно підвищити їх рентабельність шляхом збільшення частки заміщення органічного палива відновлювальними джерелами енергії. Проте, вказану задачу неможливо вирішити тільки за рахунок одного відновлювального джерела енергії, через циклічну зміну його природних властивостей протягом року, сезону та доби.

Ще одним напрямком скорочення споживання природного палива та підвищення ефективності роботи систем теплопостачання є використання рекуператорів теплоти в системах примусової вентиляції. При цьому необхідно також враховувати режими експлуатації будівель. Вказане необхідно реалізувати комбінованою системою автоматизації із встановленням датчиків CO₂, що дозволить значно підвищити ефективність роботи систем забез-

печення мікроклімату і зменшити людський вплив на роботу систем.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.

Проблемі синтезу та аналізу схем комбінованої модернізації інженерних систем будівель присвячено багато дослідницьких робіт [6-10], але жодна з них не спирається на можливості застосування двох чи більше відновлювальних джерел з різнорідними фізичними можливостями щодо роботи у комплексі із традиційними джерелами енергії та із урахуванням режимів експлуатації будівлі та рівнів термомодернізації огорожувальних конструкцій.

Будинки громадського призначення на відміну від житлових будівель мають широкий діапазон теплових навантажень [11]. При цьому на теплопостачання будівель впливає характер їх призначення.

Слід зауважити, що для будівель вказаної категорії – будівель громадського призначення доцільність використання двоперіодного режиму експлуатації є незаперечною і очевидною, бо при експлуатації, характерним є здатність цих систем теплозабезпечення до природного перерозподілу та компенсації одних видів теплових потреб іншими.

Вказане означає, що для будівель громадського призначення немає необхідності розраховувати систему теплопостачання на максимальну потужність (як суму максимального навантаження за всіма видами теплового споживання), бо відбувається природний перерозподіл одних видів теплових потреб в інші (самобалансування), що є важливим при проектуванні нових мікрорайонів.

Слід відзначити, щодо переведення будівель на двоперіодний режим роботи системи теплопостачання, з одного боку, призведе до зменшення витрати енергоносіїв на генерацію теплоти, а, з іншого боку, необхідно передбачити достатній запас потужності для форсованого виводу системи опалення на робочий режим протягом режиму форсованого виходу на робочі параметри.

Окрім вказаного слід зауважити, що застосування відновлювальних джерел енергії [12] з одного боку підвищує ефективність використання енергоресурсів, з іншого боку має низку кліматичних обмежень. Вказане як правило означає необхідність резервного джерела енергії.

Вплив різних типів опалювальних систем у комбінованій системі теплопостачання показано в

роботі [13] для прикладу навчального корпусу. Було наведено графік застосування різних джерел енергії впродовж опалювального сезону. Також представлено експериментальні дані динаміки процесу надтопу для різних опалювальних систем. Однак в роботі [13] не розглянуто динаміку остигання будівлі та черговий режим роботи. А це вкрай важливо для моделі управління системою теплопостачання.

Велику увагу приділяється вибору обладнання для опалення різних типів приміщень [14]. Однак у вказаній роботі бракує при розрахунку і підборі опалювальних приладів впливу матеріалів огорожувальних конструкцій при переривчастому режимі роботи.

Вказане свідчить, що режиму роботи системи теплопостачання приділяється велика увага, але відомі рекомендації щодо особливостей використання комплексного підходу до теплопостачання будівель не враховують рівень термомодернізації і експлуатаційні параметри об'єктів теплозабезпечення. Крім того, теоретичні результати не підтверджені експериментально.

3. Мета та задачі дослідження.

Основною метою даного дослідження роботи є визначення впливу різних етапів модернізації інженерних систем життєзабезпечення будівлі громадського призначення на загальне підвищення енергоефективності систем теплопостачання.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- сформулювати математичну модель об'єкта теплопостачання із урахуванням режимів експлуатації та використання відновлювальних джерел енергії;
- на основі отриманої математичної моделі провести багатоваріантні розрахунки для визначення часток заміщення традиційних джерел енергії за рахунок різних етапів модернізації інженерних систем при різних умовах.

4. Методика проведення досліджень та обробки експериментальних даних.

Можливість використання відновлювальних джерел енергії для цілей теплопостачання в значній мірі пов'язана з кліматичними умовами, географічним розташуванням регіону експлуатації та періодом роботи системи.

Першим з основних комбінованої системи теплопостачання є сонячний колектор (СК), в якому енергія сонячного випромінювання поглинається та перетворюється в теплоту. Розглянемо плоский водяний СК, що встановлений під оптимальним кутом нахилу до горизонту, має скляне покриття, поглинаючу поверхню (абсорбер) з каналами для циркуляції теплоносія та теплову ізоляцію.

Потік сонячної радіації H , що поступає на СК, поглинається поверхнею абсорбера. Більша частина сонячної радіації, що поглинається абсорбером, передається теплоносію, що циркулює в сонячному колекторі, а інша частина втрачається в навколишнє середовище. Тепло, що відводиться робочим тілом сонячного колектору – це корисне тепло $Q_{ГК}$, яке можна використовувати для теплопостачання.

Густина потоку сонячної радіації, що поглинається абсорбером СК, дорівнює добутку густини потоку сонячної радіації H , яка поступає на абсорбер, пропускну здатності скляного покриття та поглинальної здатності абсорберу. Оскільки пряма, дифузна та відбивальна складова частина сонячного випромінювання поступають на поверхню СК під різними кутами, оптичні характеристики та враховують внесок кожного з вказаних компонентів, що виражає приведений коефіцієнт.

Тепловий баланс СК враховує втрати енергії ГК, які виникають у зв'язку з відбиттям енергії склом Q_{01} та абсорбером Q_{02} , а також при поглинанні склом Q_C . Втрати енергії Q_{01} , Q_{02} та Q_C характеризують оптичну вдосконаленість сонячного колектора.

Сумарні втрати енергії СК:

$$Q_{ГК} = Q_{P2} + Q_{K2} + Q_1 + Q_B, \quad (1)$$

де Q_{P2} – втрати енергії випромінюванням від поверхні абсорбера до скла; Q_{K2} – втрати енергії конвекцією від поверхні абсорбера до скла; Q_1 , Q_B – відповідно, втрати енергії теплопровідністю від поверхні абсорбера до навколишнього середовища крізь теплоізолювану нижню стінку та бокові стінки СК.

Сумарні втрати тепла в навколишнє середовище шляхом конвекції, випромінювання та поглинанням склом:

$$Q_{P1} + Q_{K1} = Q_{P2} + Q_{K2} + Q_C, \quad (2)$$

де Q_{P1} – втрати енергії випромінюванням від скла;

Q_{K1} – втрати енергії конвекцією від скла; Q_C – втрати енергії за рахунок поглинання склом.

Другим елементом комбінованої системи тепlopостачання є акумулятор (АК) теплової енергії. Розглянемо теплоізолюваний бак-акумулятор рідинного типу.

Будемо вважати, що акумуляування тепла відзначається короткочасним характером, та рідина в акумуляторі постійно перемішується. При цьому відомими є об'єм АК V , його коефіцієнт форми C , а також коефіцієнт втрат тепла K_{AK} . Оскільки об'єм бака-акумулятора V повинен відповідати площі сонячного колектора $A_{ГК}$, встановлено, що для 1 м^2 площі ГК оптимальний об'єм V знаходиться у межах $0,05 - 0,1 \text{ м}^3$. Тоді для вказаних умов у довільно обраний момент часу t температура робочої рідини T_s буде постійною по всьому об'єму АК.

Рівняння балансу енергії АК:

$$V_B = C_p \cdot \rho_B \cdot \left(\frac{dT_B(t)}{dt} \right) = Q_{вх}(t) - Q_{вих}(t) - Q_{п}(t), \quad (3)$$

де $Q_{вх}(t)$, $Q_{вих}(t)$ – відповідно, тепла потужність на вході та виході АК, Вт; $Q_{п}(t)$ – втрати тепла у навколишнє середовище, Вт.

Величину теплових втрат АК у навколишнє середовище можна визначити за рівнянням:

$$Q_{п}(t) = K_{БА} \cdot V^{2/3} \cdot C \cdot [T_s(t) - T_n]. \quad (4)$$

Третім елементом комбінованої системи тепlopостачання є теплонасосна установка, основними елементами якої в загальному вигляді є компресор, конденсатор, дросельний клапан та випарник. Випарник ТН передбачається для відводу теплоти з низькотемпературного рівня, яким, в нашому випадку, є бак-акумулятор контуру геліосистеми, або безпосередньо сонячний колектор, з метою передачі одержаного низькопотенційного теплоти Q_2 робочому тілу теплового насосу для подальшого випарювання та послідовного стискування робочого тіла ТН в компресорі, для чого витрачається робота L .

Конденсатор ТН передбачається для відводу тепла Q_1 від робочого тіла, що після компресору має більш високий рівень температури та тиску у зрівнянні з випарником ТН.

Енергетичною характеристикою ефективності роботи ТН є коефіцієнт перетворення енергії у те-

пловому насосі $\varepsilon_{ТН} = Q_1/L$. При цьому робота стискування в компресорі дорівнює різниці між кількістю теплоти, що відводиться на високому температурному рівні Q_1 (тобто в конденсаторі ТН), та кількістю теплоти, що підводиться на низькому температурному рівні Q_2 у випарнику ТН:

$$L = Q_1 - Q_2. \quad (5)$$

При незворотному циклі ТН коефіцієнт перетворення енергії:

$$\varepsilon_{ТН} = \eta_K \cdot \varepsilon_K = \frac{\eta_K \cdot T_K}{T_K - T_i}, \quad (6)$$

де η_K – ККД еквівалентного циклу Карно; ε_K – коефіцієнт перетворення енергії еквівалентного циклу Карно; T_K – температура в конденсаторі ТН, К; T_i – температура в випарнику ТН, К.

Для теплового розрахунку конденсатора ТН необхідно мати дані щодо середньої різниці температур в конденсаторі Δv_K , яка дорівнює різниці температур між T_B^{cp} – середньою температурою рідинного теплоносія, що поступає в конденсатор ТН з контуру теплового споживача, та температурою робочого тіла ТН в конденсаторі T_K :

$$\Delta v_K = T_K - T_B^{cp}, \quad (7)$$

де $T_B^{cp} = (T_{B0} + T_{B1})/2$ – середня температура рідинного теплоносія контуру теплового споживача в процесі відводу теплоти від робочого тіла конденсатора ТН, тобто середня температура «гарячого» теплоносія верхнього температурного рівня, К.

Аналогічно, для теплового розрахунку обох випарників ТН необхідно мати дані щодо середньої різниці температур у випарниках Δv_i (відповідно, в сонячному випарнику – Δv_{i1} , в ґрунтовому – Δv_{i2}), яка дорівнює різниці температур між T_f^{cp} – середньою температурою рідинного теплоносія, що поступає в випарник ТН, відповідно, з геліоконтуром або з ґрунтового контуру, та температурою робочого тіла ТН в випарнику T_i :

$$\Delta v_i = T_f^{cp} - T_i, \quad (8)$$

де $T_f^{cp} = (T_{f0} + T_{f1})/2$ – середня температура рідинного теплоносія в процесі підводу теплоти від нетрадиційних джерел енергії до робочого тіла випарника ТН, тобто середня температура «холодно-

го» теплоносія нижнього температурного рівня, К.

Якщо показник ефективності роботи теплового насосу в загальному вигляді представити як функцію середнього перепаду температур в конденсаторі Δv_k та у випарнику Δv_i , то одержимо рівняння:

$$\varepsilon_{\text{TH}} = \frac{\eta_k \cdot (\Delta v_k + T_B^{\text{cp}})}{(\Delta v_k + T_B + \Delta v_i - T_f^{\text{cp}})} \quad (9)$$

При роботі теплового насосу з контуром СК, до складу якого входить бак-акумулятор, формула набуває вигляду:

$$\varepsilon_{\text{TH}}^c = \frac{\eta_k \cdot (\Delta v_k + T_B^{\text{от}})}{(\Delta v_k + T_B^{\text{от}} + \Delta v_{i1} - T_s)}, \quad (10)$$

де $T_B^{\text{от}}$, T_s – відповідно, середня температура рідини в контурі теплового споживача та в АК контуру СК, К.

Четвертим елементом КСТА є об'єкт теплопостачання (ОТ). Будемо вважати, що об'єктом теплопостачання є типовий двоповерховий промисловий або житловий будинок, що має систему природної вентиляції.

Тепловий баланс об'єкту теплопостачання дозволяє визначити кількість теплоти, яка необхідна для забезпечення теплових потреб споживача:

$$V_B \cdot C_p \cdot \rho_B \cdot \frac{dT_B}{dt} = \sum Q_{\text{вх}}(t) - \sum Q_{\text{вих}}(t) + \sum Q_{\text{вн}}(t), \quad (11)$$

де V_B – об'єм повітря в приміщеннях, м^3 ; C_p – теплоємність повітря, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; ρ_B – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; T_B – температура повітря, К; t – час, с; $\sum Q_{\text{вх}}$ – сумарна кількість теплоти, що підводиться до приміщення, кВт; $\sum Q_{\text{вих}}$ – сумарна кількість теплоти, що відводиться з приміщення, кВт; $\sum Q_{\text{вн}}$ – сумарна кількість теплоти, що надходить від внутрішніх джерел приміщення, кВт.

Оскільки вимоги в теплоті для цілей опалення Q_T дорівнюють енергії, що підводиться до приміщення, можна записати що $\sum Q_{\text{вх}} = Q_T$.

Теплота, що відводиться з приміщення дорівнює втратам теплоти крізь стіни $\sum Q_{\text{ст}}$, вікна $\sum Q_{\text{ок}}$ та шляхом вентиляції $Q_{\text{вент}}$, тобто справедливим є рівняння $\sum Q_{\text{вих}} = \sum Q_{\text{ст}} + \sum Q_{\text{ок}} + Q_{\text{вент}}$.

Потоком теплоти від внутрішніх джерел приміщення, якими є теплова енергія від електрооб-

ладнання та мешканців будинку, знехтуємо ($\sum Q_{\text{вн}} = 0$).

Тоді рівняння теплового балансу для об'єкту теплопостачання:

$$V_B \cdot C_p \cdot \rho_B \cdot \frac{dT_B}{dt} = Q_m(t) - \sum Q_{\text{ст}}(t) - \sum Q_{\text{ок}}(t) - Q_{\text{вент}}. \quad (12)$$

Одержані рівняння є математичними моделями складових елементів системи теплопостачання і складають основу для переходу до наступного етапу дослідження – аналізу та числового моделювання процесів теплообміну при різних режимах роботи систем теплопостачання, з метою визначення оптимальних умов роботи системи за критерієм максимально можливого заміщення частки традиційного палива відновлювальними джерелами енергії та забезпечення надійності теплопостачання споживачів при сезонних кліматичних змінах.

5. Результати досліджень.

Моделювання процесів в елементах системи комбінованого теплопостачання проводились на базі навчального корпусу №10 Національного університету «Одеська політехніка» впродовж опалювальних сезонів 2017-2022 років.

Пілотна установка комбінованого теплопостачання дозволяє виконати експериментальну перевірку адекватності запропонованих математичних моделей теплових процесів в елементах системи, забезпечити обґрунтовані науково-технічні засади оптимізації параметрів при різних режимах роботи системи. При цьому раціональне використання різних джерел відновлюваної енергії дозволить визначити можливу частку заміщення традиційної енергії альтернативними джерелами і визначити експериментальним шляхом ефективність роботи контурів при зміні кліматичних умовах.

Основне обладнання, яке входить до складу базової експериментальної установки містить блочний тепловий пункт; акумулятор теплоти; пароконденсатний моноблоковий тепловий насос, багатомодульну систему СК, комбіновану теплову ізоляцію, припливно-витяжну вентиляцію і систему автоматизації режимів експлуатації.

Для узгодження режимів роботи системи теплопостачання та споживачів, а також для використання в системі переривчастого опалення кожен з

вказаних джерел тепла доповнено акумулятором теплоти.

Наведені математичні моделі дозволили отримати наступні результати частки економії енергоносіїв за рахунок впровадження енергоефективних технологій (рис. 1-3).



Рисунок 1 – Порівняльна характеристика тепловтрат будівлі через стіни у відсотках при різних товщина теплової ізоляції

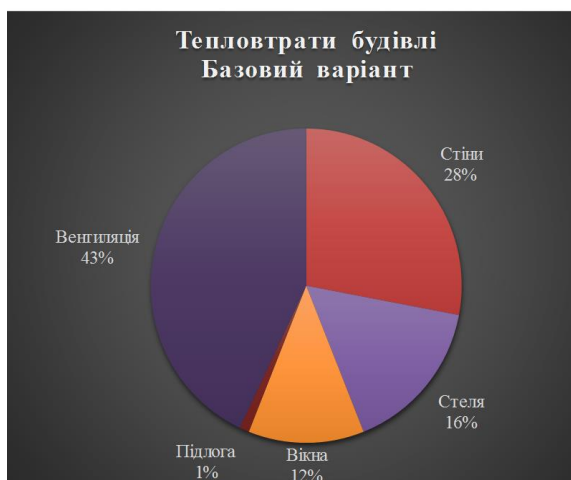


Рисунок 2 – Тепловтрати будівлі, базовий варіант



Рисунок 3 – Тепловтрати будівлі, нормативний варіант відносно базового

Як видно із результатів розрахунків комплексний підхід до модернізації як інженерних систем так і будівельних огорожень, із урахуванням режимів експлуатації та використання відновлювальних джерел енергії дає досить суттєвий економічний та екологічний ефект (понад 70 відсотків економії енергоресурсів).

6. Висновки.

Відповідно до поставлених задач дослідження було зроблено:

- аналіз існуючих моделей роботи різних елементів систем теплопостачання, та вибір методик, які найбільш відповідають задачам дослідження;
- проведено дослідження із використанням наявних систем теплопостачання на прикладі навчального корпусу, щодо актуалізації обраних моделей;
- проведено аналіз часток етапів модернізації систем життєзабезпечення та ефективність їх впровадження.
- визначено, що із урахуванням режимів експлуатації та використання відновлювальних джерел енергії дає досить суттєвий економічний та екологічний ефект (понад 70 відсотків економії енергоресурсів).

Особистий внесок авторів CRedit

Позднякова Г.І.: концептуалізація, методологія, формальний аналіз. **Бабасв Є.С.:** аналіз та узагальнення даних; обробка даних.

Література

1. Закон України «Про енергетичну ефективність». Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2022. – № 2, ст.8.
2. Закон України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки». Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2001. – № 48, ст.253.
3. **Жовтянський В.А.** Проблеми розвитку енергозбереження в Україні та шляхи їх вирішення // Проблеми економії енергії: Збірник матеріалів III Міжнар. конф. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». – 2001. – С. 24-34.
4. **Жовтянський В.А.** Стан виконання Комплексної державної програми енергозбереження та перспективи її послідовної реалізації // Проблеми загальної енергетики. – 2000. – № 2. – С. 36-41.

5. Дарчук В.А., Жовтянський В.А., Праховник А.В. Управління енерговикористанням: проблеми, шляхи реалізації // Матеріали Міжнар. конф. «Енергетична безпека Європи. Погляд в XXI століття». – Київ.: УЕЗ. – 2001. – С. 169-177.
6. Denysova A.E., Mazurenko A.S., Denysova A.S. Efficiency Growth of Interaction of Combined-cycle Cogeneration Plant with the Heat Supply System // Problemele energeticii regionale. – 2015. – No.2 (28). – P.89-95.
7. Денисова А.Е., Троїцький О.М. Методика розрахунку теплового насосу з використанням скидних вод // Холодильна техніка та технологія. – 2010. – № 4. – С. 34-38.
8. Денисова А.Е., Бірюк В.Ю., Котов П.О. Ефективність систем енергозабезпечення промислових підприємств // Холодильная техніка та технологія. – 2011. – № 2 (130). – С. 56-60.
9. Лужанська А.В. Титар С.С., Климчук О.А. Аналіз принципів схем використання вторинного тепла для потреб теплопостачання // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: Збірник наукових праць. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2010. – Вип. 2. – С. 165-170.
10. Грунь А.І., Климчук О.А., Юрковський С.Ю. Сучасні методи проектування систем тепло- та холодопостачання із застосуванням енергозберігаючого обладнання. Практична реалізація проектів // Збірник наукових праць «Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків, 2012. – Вип. 8. – С.150-153.
11. Г.А. Баласанян, О.А.Климчук, Е.В. Кириллова Режими роботи системи комбінованого теплопостачання навчального корпусу // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність в галузях економіки України», ВНТУ, Вінниця, 2013. – С. 9-15.
12. Г.А. Баласанян, М.Б. Миняйло, О.А. Климчук Моделювання режиму переривчастого опалення комбінованої системи теплопостачання з тепловим насосом // Збірник наукових праць «Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків, 2015. – Вип. 17. – С.97–102.
13. O. Klymchuk et al. Implementation of an integrated system of intermittent heat supply for educational institutions // EUREKA: Physics and Engineering. – 2018. – Vol. 1. – P. 3-11.
14. A. Mazurenko et al. Improving the operation modes efficiency in heat pump systems of hot water supply with the two-stage heat accumulation // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1. – No. 8 (85). – P. 27-33.

Отримана в редакції 24.02.2024, прийнята до друку 28.03.2024

Ways to increase the energy efficiency of heat supply in city regions at the account of complex modernization of engineering systems of buildings

Ganna Pozdniakova^{1✉}, Yevhen Babaiev²

¹⁻²National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine;

✉ e-mail: ¹aipozdniakova@gmail.com

ORCID: ¹<https://orcid.org/0009-0003-1132-094X>; ²<https://orcid.org/0000-0001-7388-5979>

Depletion of the world's fuel and energy resources, which causes an inevitable increase in energy prices, both on the world market and in Ukraine, has exacerbated the problem of the introduction of energy-saving technologies and put research aimed at the effective use of renewable energy sources for the purposes of energy supply into a number of strategic tasks state. The paper analyzes existing heat supply systems and ways to increase the efficiency of using existing energy resources and reduce emissions of harmful substances into the environment. The expediency of a comprehensive approach to the implementation of energy-efficient technologies in the heat supply system, taking into account the peculiarities of the operating modes of buildings and engineering life support systems, is shown. Based on the analysis of existing mathematical models and methods of calculating the operating modes of various elements of the combined heat supply system using renewable energy sources (solar collectors, heat pumps, heat accumulators, etc.), mathematical models of the operating modes of the specified systems are given. On the example of a separate building of public purpose (educational building), the calculation of the operation modes of the microclimate engineering systems was carried out taking into account the operating modes of the building, and on the basis of the available pilot plant, a study of the

operation of the combined heat supply system using renewable energy sources and the use of heat accumulators was carried out to coordinate the generation modes and heat consumption by the building. On the basis of the conducted research, the distribution of the shares of energy savings from each stage of modernization of microclimate engineering systems and general thermal modernization of the building using both external thermal insulation and internal shielding of massive walls was obtained.

Keywords: Heat supply; Thermomodernization; Renewable energy sources; Heat supply systems; Energy saving; Energy efficiency.

References

1. Law of Ukraine "On Energy Efficiency". (2022). Vidomosti Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2, article 8.
2. Law of Ukraine "On priority areas for the development of science and technology." (2001). Vidomosti Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 48, article 253.
3. Zhovtyansky, V.A. (2001). Problems of the development of energy saving in Ukraine and ways to solve them. *Problems of energy saving: Collection of materials III International. conf. Lviv: Publishing House of the National University "Lviv Polytechnic"*, 24-34.
4. Zhovtyansky, V.A. (2000). The status of implementation of the Comprehensive State Energy Saving Program and prospects for its consistent implementation. *Problems of general energy*, 2, 36-41.
5. Darchuk, V.A., Zhovtyanskyi, V.A., Prakhovnyk, A.V. (2001). Management of energy use: problems, ways of implementation. *Materials International. conf. "Energy security of Europe. View in the 21st century"*. Kyiv: UEZ, 169-177.
6. Denysova, A.E., Mazurenko, A.S., Denysova, A.S. (2015). Efficiency Growth of Interaction of Combined-cycle Cogeneration Plant with the Heat Supply System. *Problemele energeticii*, 2(28), 89-95.
7. Denisova, A.E., Troitskyi, O.M. (2010). Heat pump calculation method using waste water. *Refrigeration engineering and technology*, 4, 34-38.
8. Denisova, A.E., Biryuk, V.Yu., Kotov, P.O. (2011). Efficiency of energy supply systems of industrial enterprises. *Refrigeration engineering and technology*, 2 (130), 56-60.
9. Luzhanska, A.V. Tytar, S.S., Klimchuk, O.A. (2010). Analysis of principle schemes of using secondary heat for heat supply needs. *Technical heat physics and industrial heat energy: Collection of scientific papers. Dnipropetrovsk: New Ideology*, 2, 165-170.
10. Klymchuk, A.A. Yurkovsky, S.Yu. (2012). Modern methods of designing heating and cooling systems with energy-saving equipment. Practical implementation of projects. *Collection of scientific works "Bulletin of the National Technical University "KhPU"*, Kharkiv, 8, 150-153.
11. Balasanyan, G.A., Klimchuk, O.A., & E.V. Kirillova A.A. (2013). Modes of operation of the combined heat supply system of the educational building. *International scientific and technical conference "Energy efficiency in the branches of the economy of Ukraine"*, VNTU, Vinnytsia, 9-15.
12. Balasanyan, G.A. Minyaylo, M.B., & Klimchuk A.A. (2015). Modeling of the intermittent heating regime of the combined heat supply system with a heat pump. *Collection of scientific works "Bulletin of the National Technical University "Khpy"*. Energy and heat engineering processes and equipment. Kharkiv, 17, 97-102.
13. Klymchuk, O., Denysova, A., Balasanyan, G., Alhemiri, S. A., & Borysenko, K. (2018). Implementation of an integrated system of intermittent heat supply for educational institutions. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 3-11.
14. Mazurenko, A. et al. (2017) Improving the operation modes efficiency in heat pump systems of hot water supply with the two-stage heat accumulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 8 (85), 27-33.

Received 24 February 2024

Approved 28 March 2024

Available in Internet 10 April 2024