

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

DOI: 10.31319/2519-2884.39.2021.11

УДК 697.7

Р.О. Клімов, к.т.н., доцент, klroma@ukr.net

А.С. Морозовська, магістр, ppter@i.ua

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

У роботі вирішується питання використання комбінованих систем теплопостачання, які базуються на використанні в якості палива первинного органічного та відновлювальних джерел енергії. Розроблена методика розрахунку сумісної роботи сонячних колекторів, теплових насосів та котлів. За даною методикою можна визначити для різних режимів роботи оптимальні параметри системи теплопостачання, при яких буде забезпечене мінімальне споживання органічного палива.

Ключові слова: теплопостачання, опалення, котел, енергія, тепловий насос.

The work addresses the issue of using combined heat supply systems based on the use of primary organic and renewable energy sources as fuel. A method for calculating the joint operation of solar collectors, heat pumps and boilers has been developed. Using this technique, it is possible to determine for different operating modes the optimal parameters of the heat supply system, at which the minimum consumption of fossil fuel will be ensured.

Keywords: heat supply, heating, boiler, energy, heat pump.

Постановка проблеми

Основними споживачами енергетичних ресурсів є промислові підприємства та житлово-комунальний сектор. Витрата ресурсів залежить від ефективності реалізації процесів перетворення первинної енергії в корисну у кінцевого споживача. Як показує практика споживання енергетичних ресурсів в світових державах непинно зростає з року в рік. Видобуток органічного палива також збільшується, але в силу різних причин не може покрити в повному обсязі необхідної кількості у споживачів. Одним з найбільш важливих секторів споживання є теплові навантаження опалення, вентиляції та гарячого водопостачання промислових і житлових будівель [1, 2]. Без покриття таких видів навантажень неможливе комфортне існування людини, особливо в зимовий період. Для покриття теплових навантажень опалення та гарячого водопостачання необхідним теплоносієм є нагріта до певної температури вода. Найбільш перспективними, з точки зору нагріву води для гарячого водопостачання, є сонячні колектори [2—5]. Використання сонячної енергії обмежується географією розташування споживачів, що впливає на інтенсивність падаючої променистої енергії віднесеної до 1 м² поверхні, а також чергування днів і ночей, та характеру погоди. Використання сонячних колекторів в зимовий період при низьких температурах обмежується температурою замерзання води. Тому доцільно в якості робочого середовища використовувати антифризи. Гарячу воду для опалення необхідно догрівати практично на всьому проміжку опалювального періоду. Використання для цих цілей котлів призводить до витрат на паливо, електричних котлів побічно, все одно на первинне паливо. Перспективним є впровадження теплонасосних установок [2, 3]. При використанні сонячних колекторів догрів теплоносія можна здійснювати в теплових насосах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Кожен вид систем опалення має свої переваги та недоліки. Найбільшого розповсюдження знаходять системи водяного опалення, які базуються на використанні котлів, що споживають різні види палива, або електричну енергію [1]. Комбінування різних типів систем теплопостачання дозволяє використовувати первинну енергію з більшою ефективністю, а комбіну-

вання різних джерел енергії з використанням органічного палива та відновлювальних джерел дозволяє зменшити витрату коштовного первинного палива.

Найбільш надійною і маневреною є схема використання сонячної енергії для нагрівання води опалення та гаряче водопостачання представлена на рис. 1 [2]. Сонячна енергія підігріває теплоносії в колекторі 1, через теплообмінник 2 нагрівають воду в баку-акумуляторі 3. Така вода буде низькопотенціальним джерелом теплової енергії для роботи теплових насосів 4 і 5. У конденсаторі теплового насоса 4 проводиться нагрів води питної якості для гарячого водопостачання, а в конденсаторі 5 отримують воду для опалення. Догрів води опалення проводиться в котлі 6.

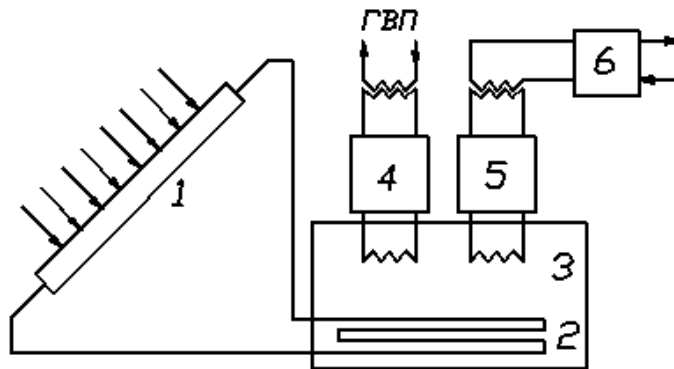


Рис. 1. Схема підключення комбінованої системи тепlopостачання(позначення в тексті)

Теоретично при використанні такої схеми подачі теплоти в більшій частині опалювального періоду котел 6 може не працювати і тим самим не споживати органічного палива. Практично ж сонячна енергія непостійна і в певні проміжки часу буде необхідно включати котел 6. У літній період підігріта вода на гаряче водопостачання може відбиратися безпосередньо з бака-акумулятора 3 без використання теплового насоса 4. У зимовий період, коли потреба в опалювальному навантаженні велика, нагрів теплоносія в колекторі буде мінімальним. Тим самим зростає частка роботи теплових насосів і котла. Розраховуючи кожен елемент наведеної схеми тепlopостачання на мінімальну або максимальну температуру зовнішнього повітря, можна отримати якісно і кількісно невірні результати.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка такої комбінованої системи тепlopостачання, яка використовує більшою мірою відновлювальну енергію та в якості пікового джерела котел на органічному паливі (електричній енергії), а також методики розрахунку даної системи для визначення оптимального складу обладнання та найбільш раціональних режимів його роботи.

Виклад основного матеріалу

Моделювання роботи комбінованої системи тепlopостачання проведене для будівлі загальною площею 233 м² розташованої в м. Кам'янське Дніпропетровської області. Розрахункове теплове навантаження опалення для будівлі визначається за законами теплопередачі. Чисельне значення навантаження гарячого водопостачання в опалювальний період дорівнює [1]

$$Q_{гвп}^3 = \gamma Q_0^p, \quad (1)$$

де Q_0^p — розрахункове теплове навантаження опалення, Вт; γ — частка навантаження гарячого водопостачання від опалення.

Влітку є лише навантаження гарячого водопостачання, яке визначається витратою води та температурою первинної холодної води і може бути визначене з рівняння [1]

$$Q_{гвп}^n = 0,65 Q_{гвп}^3. \quad (2)$$

При використанні геліотеплонасосної системи тепlopостачання доцільним є використання систем опалення з графіком регулювання 75/50 °С.

Загальне теплове навантаження для місяців зимового періоду

$$Q_i = Q_{oi} + Q_{zbn}^3, \quad (3)$$

де Q_{oi} — теплові навантаження опалення для кожного місяця опалювального періоду [1]

$$Q_{oi} = Q_o^p \frac{t_g - t_i}{t_g - t_{zo}}, \quad (4)$$

де t_g, t_i, t_{zo} — відповідно температура внутрішнього повітря в приміщенні, середня температура зовнішнього повітря і-го місяця, зовнішнього повітря для розрахунків опалення, °С.

Проводячи розрахунки за рівняннями (1)–(4) можна отримати середнє навантаження для кожного місяця, опираючись на статистичні дані температур навколишнього повітря. Для максимальної ефективності необхідно розрахувати значення навантаження опалення виходячи з середньої температури зовнішнього повітря за опалювальний період для регіону $Q_{oc} = f(t_c)$ та відповідно $Q_i^c = f(t_c)$.

Теплове навантаження сонячного колектору, а також об'єм теплоакумулятора та площу колекторів необхідно перерахувати з урахуванням споживання теплового насосу

$$Q_{ci} = Q_i^c (1 - 1/COP), \quad (5)$$

де COP — коефіцієнт перетворення теплового насосу.

Навантаження на сонячний колектор значно знижується при використанні теплового насосу, що призводить до зменшення необхідної площі модулів сонячних колекторів та впливає на розрахунковий об'єм акумуляторного баку. Необхідний об'єм баку акумулятора для кожного місяця в році та при середньому навантаженні може бути розрахований при урахуванні значень теплового навантаження опалення та ГВП

$$V = \frac{Q_{ci} \cdot 86400}{\rho_g c_g \Delta t}, \quad (6)$$

де c_g — теплоємність води, Дж/(кг·К); Δt — температурний перепад в тепловому акумуляторі, К; ρ_g — густина води, кг/м³.

Приймаємо, що за допомогою сонячного колектору можна нагріти бак-акумулятор взимку до 40 °С, а влітку до 60 °С. На цей температурний рівень проведено розрахунок необхідної теплової потужності сонячних колекторів.

Площа поверхні сонячних колекторів визначається середньомісячним рівнем сонячної радіації, який можна розрахувати використовуючи сумарне значення сонячної радіації на поверхню при дійсних умовах хмарності та тривалості сонячного світіння за кожен місяць року. Тоді середня площа поверхні сонячних колекторів необхідна для забезпечення достатньою кількістю теплової енергії теплоакумулятора

$$F_c = \frac{Q_{ci}}{I_c \eta_{ck}}, \quad (7)$$

де I_c — середній рівень сонячної радіації за опалювальний період з урахуванням тривалості сонячної інсоляції, Вт/м²; η_{ck} — ККД сонячного колектора.

Рівень сонячної радіації дуже непостійний протягом року. Тому, якщо розрахувати необхідну площу модулів сонячного колектора для кожного місяця, їх значення будуть суттєво відрізнятися. За отриманими результатами можна підібрати кількість модулів сонячного колектора використовуючи значення площі одного з технічних характеристик.

Сонячний колектор середньої площі зможе забезпечити потужність [4, 5]

$$Q_{ki} = F_c I_i \eta_{ck}, \quad (8)$$

де I_i — середньомісячний рівень сонячної радіації, Вт/м².

Влітку, внаслідок більшої сонячної енергії, потужність є значно більшою ніж в опалювальний період.

Тепловий насос збільшує енергетичний потенціал потоку та в опалювальний період вносить до загального балансу енергію

$$Q_{hi} = \frac{Q_{ki}}{1 - 1/COP}. \quad (9)$$

Графічна інтерпретація отриманих результатів розрахунків за рівняннями (5)–(9) приведена на рис. 2.

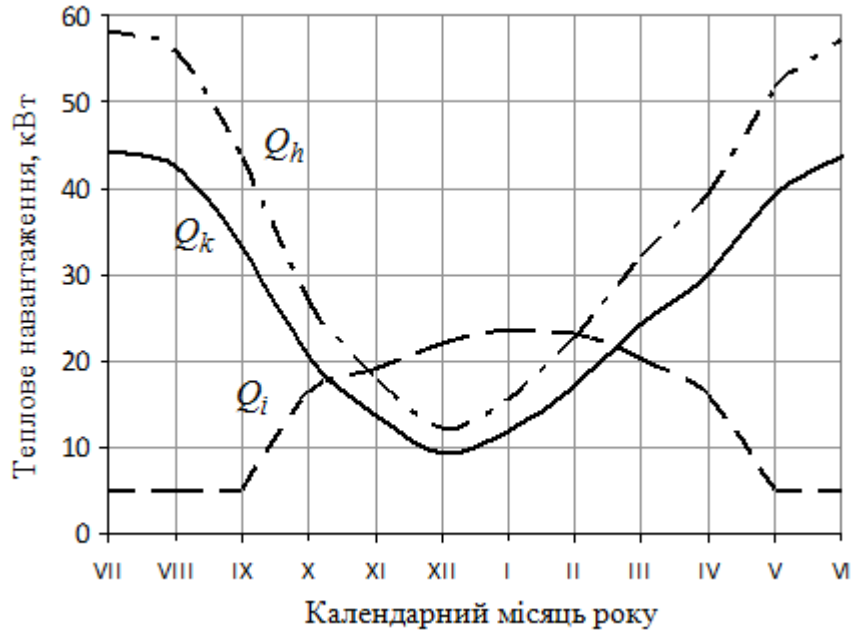


Рис. 2. Графік подачі та споживання теплоти

Як видно з рис. 2 при використанні для розрахунку середніх температурних параметрів протягом опалювального періоду, необхідна теплова потужність системи тепlopостачання може бути покрита в чотирьох місяцях тільки за допомогою котла, як додаткового джерела теплоти. Котел може бути відключений для усіх інших місяців року. При цьому з березня по жовтень місяць необхідною кількістю теплоти забезпечує лише енергія сонячних колекторів.

Проводячи перетворення рівняння (8) можна отримати

$$Q_{hi} = Q_o^p \left(\frac{t_g - t_c}{t_g - t_{30}} + \gamma \right) \frac{I_i}{I_c}. \quad (10)$$

З рівняння (10) видно, що теплова потужність теплового насоса (та сонячного колектора) протягом календарного періоду визначається співвідношенням середньомісячного рівня сонячної радіації I_i до середнього значення сонячної радіації I_c прийнятого в моделюванні, тобто $Q_{ki} \sim I_i / I_c$ та $Q_{hi} \sim I_i / I_c$.

Частка теплової потужності, яку необхідно отримувати від котла в залежності від періоду року визначається потужністю або лише сонячних колекторів, або теплового насоса після сонячних колекторів

$$Q_{cki} = Q_i - Q_{hi}(ki). \quad (11)$$

Від'ємний знак в отриманих результатах показує, що для даного місяця року в використанні котла немає необхідності.

На рис. 3 показано графік перерозподілу теплового навантаження між джерелами енергії протягом опалювального періоду. Для приведених умов котел буде використовуватися лише декілька місяців протягом року, тобто витрата палива на нього буде значно знижена.

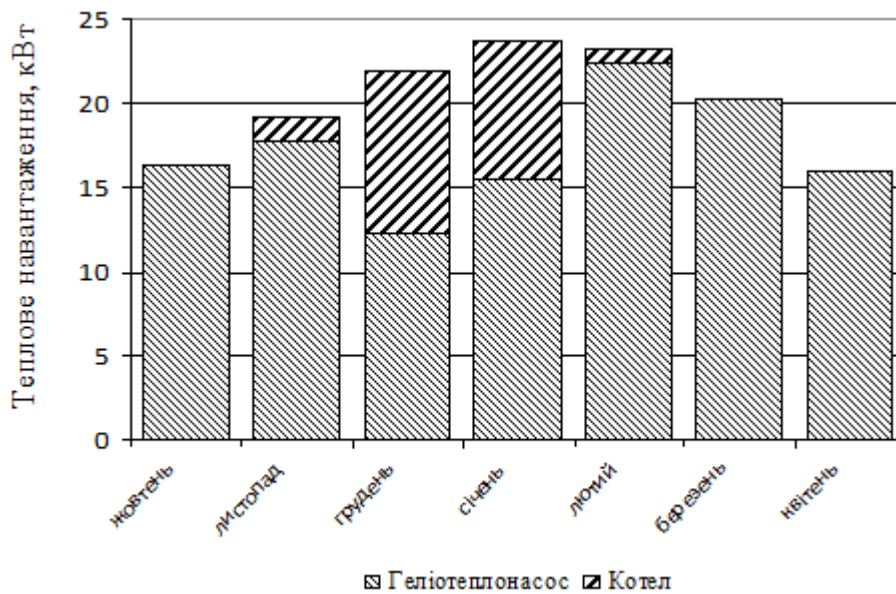


Рис. 3. Графік покриття навантажень

Економія палива на котел визначається як різниця фактичної та розрахункової витрати палива при роботі системи тепlopостачання та може бути розрахована з рівняння

$$\Delta B = \frac{Q_p - \sum Q_{зкi} \tau_i}{Q_n^p \eta_{зк}}, \quad (12)$$

де Q_p — витрата теплоти на опалення та ГВП за рік, Дж; Q_n^p — нижча робоча теплота згорання палива, Дж/м³ (Дж/кг); $\eta_{зк}$ — ККД котла; τ_i — тривалість і-го місяцю року, с.

Висновки

Приведена методика розрахунку систем тепlopостачання, які поєднують сонячні колектори, теплові насоси та котли на органічному паливі. Завдання розподілу навантаження між основними елементами комбінованої системи тепlopостачання повинне враховувати ймовірнісну складову. Це пов'язане з тим, що різне теплове завантаження обладнання може бути оптимальним при змінному реальному режимі роботи. На це, в першу чергу, впливають змінні протягом доби надходження теплоти від сонячних колекторів. За приведеною методикою можна визначити для різних режимів роботи оптимальні параметри системи тепlopостачання, при яких буде забезпечене мінімальне споживання органічного палива.

Список використаної літератури

1. Клімов Р.О. Теплоенергетичні системи промислових підприємств. Навчальний посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. 200 с.
2. Клімов Р.О., Кузора Р.А. Моделювання роботи комбінованих джерел енергії для систем тепlopостачання. *Наукова Україна*. Дніпро: ТОВ «Акцент ПП», 2019. С. 400 – 403.
3. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. М.: Издательство Машиностроение-1, 2006. 256 с.
4. Городов Р.В., Губин В.Е., Матвеев А.С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 294 с.
5. Бекман У.А., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М.: Энергоиздат, 1982. 79 с.

ENERGY EFFICIENCY OF COMBINED HEAT SUPPLY SYSTEMS**Klimov R., Morozovskaya A.****Abstract**

The consumption of energy resources in the world states is constantly growing from year to year. The production of fossil fuels is also increasing, but for various reasons it cannot fully cover the required amount from consumers. One of the most important consumption sectors is heat loads from heating, ventilation and hot water supply of industrial and residential buildings. To cover the thermal loads of heating and hot water supply, the necessary heat carrier is water heated to a certain temperature. The most promising from the point of view of heating water for hot water supply are solar collectors. Hot water for heating needs to be reheated practically throughout the entire heating period. The introduction of heat pumps is promising. When using solar collectors, the heating agent can be reheated in heat pumps.

The aim of the study is to develop such a combined heat supply system that uses more renewable energy and as a peak source a fossil fuel boiler (electric energy), as well as a method for calculating this system to determine the optimal composition of equipment and rational modes of its operation.

The methodology for calculating heat supply systems combining solar collectors, heat pumps and fossil fuel boilers is presented. The problem of load distribution between the main elements of the combined heat supply system should take into account the probabilistic component. This is due to the fact that with a changing real mode of operation, different thermal load of the equipment can be optimal. This is primarily influenced by the variable heat inputs from solar collectors during the day. According to the above method, it is possible to determine the optimal parameters of the heat supply system for different operating modes, at which the minimum consumption of fossil fuel will be ensured.

References

- [1] Klimov, R.O. (2013). *Teploenergetichni sistemi promislovikh pidpriemstv* [Heat and power systems and industrial enterprises]. Dniprodzerzhinsk: DDTU [in Ukraine].
- [2] Klimov, R.O., & Kuzora, R.A. (2019). *Modelyuvannya roboti kombinovanih dzherel yenergii dlya sistem teplopostachannya* [Simulation of combined energy sources for heating systems]. *Naukova Ukraïna. Dnipro: TOV «Aktsept PP»*, 400 – 403 [in Ukraine].
- [3] Fokin, V.M. (2006). *Osnovy energosberezheniya i energoaudita* [Fundamentals of energy saving and energy audit]. M.: Izdatel'stvo Mashinostroyeniye-1 [in Russian].
- [4] Gorodov, R.V., Gubin, V.Ye., & Matveyev, A.S. (2009). *Netraditsionnyye i vobnovlyayemyye istochniki energii* [Non-traditional and renewable energy sources]. Tomsk: Izd-vo TPU [in Russian].
- [5] Bekman, U.A., Kleyn, S., & Daffi Dzh. (1982). *Raschet sistem solnechnogo teplosnabzheniya* [Calculation of solar heat supply systems]. M.: Energoizdat [in Russian].