

5. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Хартман К. и др. М.: Мир, 1977. 552с.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279с.
7. Пат. 25862 Україна. МПК С 04 В 14/00. Сировинна суміш для пористого теплоізоляційного матеріалу / Соколовська І.Є., Кошлак Г.В., Павленко А.М., заявник і власник Дніпродз. держ. техн. ун-т. № 200703899; заявл. 10.04.2007; опубл. 27.08.2007, Бюл. №13, 2007р.

Надійшла до редколегії 10.03.2020.

УДК 620.92:697.329

DOI 10.31319/2519-2884.36.2020.16

ГЛУЩЕНКО О.Л., к.т.н., доцент
РАВІТКІНА С.В., магістр
ПОДОДНЯ А.П., бакалавр

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОДНО-ОЗДОРОВЧОГО КОМПЛЕКСУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вступ. Енерго- та ресурсозбереження – це глобальна проблема людства, що пов'язується, перш за все, з обмеженістю найважливіших органічних і мінерально-сировинних ресурсів планети. Сьогодні, коли проблема наростаючого дефіциту невідновлюваних природних енергоресурсів реально існує, а ціни на них нестримно зростають і будуть зростати надалі, впровадження енергозберігаючих технологій генерації теплоти і використання нетрадиційних, відновлюваних енергоджерел стає життєво необхідним. Іншою гострою світовою проблемою є екологічна проблема підтримки здорового і комфортного середовища існування людини. Сьогодні головним джерелом енергії служить викопне паливо, спалювання якого руйнує навколишнє середовище і викликає зміну клімату. Використання нетрадиційних джерел енергії є одним із самих ефективних заходів, що можуть бути застосовані для оздоровлення повітряного та водного басейнів; їх значення зростає і в зв'язку з об'єктивним подорожчанням традиційних паливних ресурсів – нафти, газу, вугілля.

Постановка задачі. Метою роботи є визначення:

- 1) найбільш економічного режиму роботи геліоустановки з тепловим насосом, встановлених сумісно із газовим котлом, та визначення кількості зекономленого газу у разі впровадження розробленої схеми;
- 2) теплового навантаження опалення та гарячого водопостачання протягом року у водно-оздоровчому комплексі (ВОК).

На основі наведених схем підключення сонячних колекторів та теплових насосів розрахувати необхідну теплову потужність обладнання, а саме теплове навантаження сонячного колектору, необхідну площу та об'єм теплового акумулятора для кожного місяця опалювального періоду.

Результати роботи. Для розробки та запровадження нової системи опалення ВОК на основі використання нетрадиційних джерел енергії треба визначити теплові навантаження на об'єкт дослідження. Результати розрахунку представлено у табл.1.

За результатами розрахунків до встановлення приймається система опалення з низькотемпературним графіком регулювання 75/50°C. На рис.1 наведено температурний

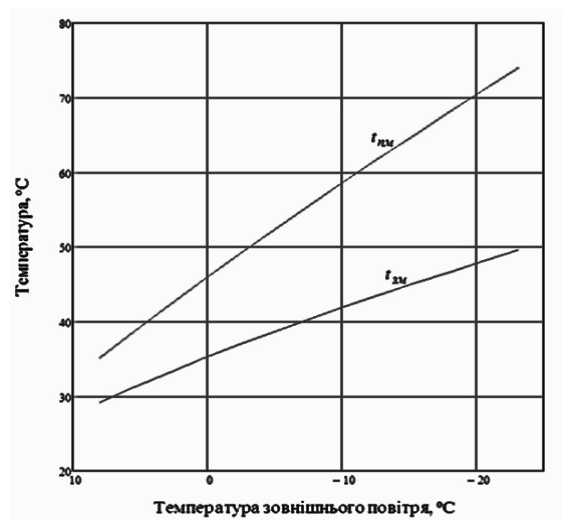
Таблиця 1 – Результати розрахунку теплових навантажень

Назва показника	Одиниці виміру	Значення
1	2	3
1. Температура зовнішнього повітря для проектування опалення, $t_{зо}$	°C	-24
2. Температура зовнішнього повітря для проектування вентиляції, $t_{зв}$	°C	-9
3. Температура повітря у приміщенні за нормальних умов, $t_{в}$	°C	18
4. Витрата теплоти на гаряче водопостачання, $Q_{гвп}$	кВт	7,8
5. Загальне теплове навантаження, Q_{Σ}	кВт	33,8

графік зміни температур прямої та зворотної ліній системи опалення в залежності від температури навколишнього повітря протягом опалювального періоду.

В загальному випадку теплові насоси, як правило, забезпечують підігрів води до рівня 60°C. Деякі з них розраховані на підігрів до 90°C. Як видно з рис.1, тепловий насос ефективно використовувати до температури зовнішнього повітря -11,2°C, а при нижчих температурах необхідно застосовувати газовий котел.

Покриття навантаження тепловим насосом показано на рис.2.



$t_{лм}$ – температура прямої мережі;
 $t_{зм}$ – температура зворотної мережі
 Рисунок 1 – Температурний графік системи опалення

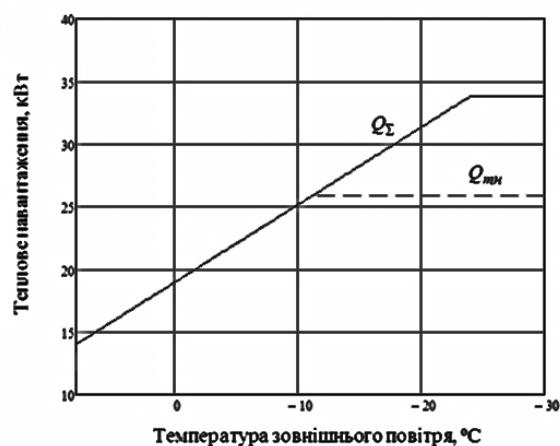


Рисунок 2 – Графік покриття теплового навантаження протягом опалювального періоду

Графік зміни середнього загального теплового навантаження протягом опалювального періоду представлено на рис.3.

З метою заощадження паливних ресурсів прийнято рішення про розробку комбінованої системи опалення: з використанням сонячного колектору, теплового насосу та газового котла.

Враховуючи значення теплових навантажень опалення та гарячого водопостачання розраховано необхідний об'єм теплового акумулятора для кожного місяця опа-

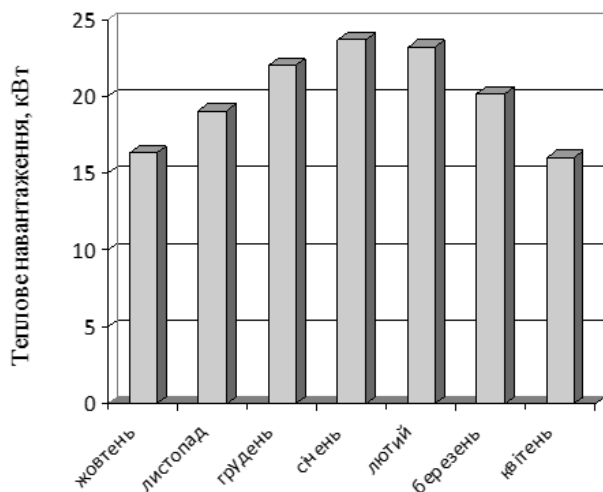


Рисунок 3 – Зміна теплових навантажень на протязі опалювального періоду

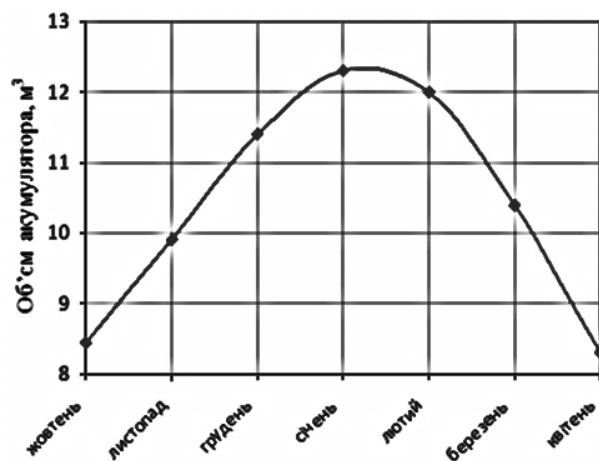


Рисунок 4 – Величина необхідного об'єму теплоакумулятора протягом опалювального періоду

лювального та неопалювального періодів року. Оскільки теплові навантаження суттєво змінюються протягом року, об'єм теплоакумулятора також різний для кожного місяця опалювального періоду (рис.4).

Розрахунок необхідної теплової потужності сонячних колекторів проведено за умови, що сонячний колектор повинен нагрівати теплоносій, що знаходиться у баку-акумуляторі до 45°C у зимовий та до 60°C у літній періоди. У данному випадку приймаємо сонячний колектор Vaillant auro Therm VFK 145/2 V [1], який має ККД 80,1%.

Частина теплової потужності, яку видає сонячний колектор, буде споживати тепловий насос. Тобто видатність сонячного колектору, а також об'єм теплоакумулятора та площу колекторів необхідно перерахувати з урахуванням використання теплового насосу:

$$Q_{ci} = Q_{\Sigma i} \left(1 - \frac{1}{COP} \right), \quad (1)$$

де Q_{ci} – теплова потужність сонячних колекторів з врахуванням роботи теплового насосу для різних місяців року, кВт;

COP – коефіцієнт перетворення теплового насосу, що береться з технічної документації обладнання;

$Q_{\Sigma i}$ – загальне теплове навантаження опалювального періоду для кожного місяця, кВт.

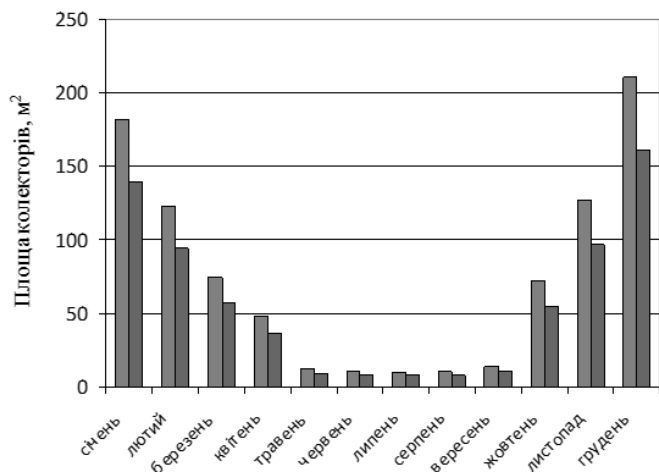
Для низки теплових насосів типу вода-вода Insolar H-WCh коефіцієнт перетворення дорівнює 4,2 [2]. Для такого значення COP теплова потужність сонячних колекторів з урахуванням роботи теплового насосу для різних місяців року дорівнює значенням, представленим у табл.2.

Таблиця 2 – Теплова потужність сонячних колекторів упродовж року

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень – Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Теплова потужність сонячних колекторів, кВт	18,06	17,69	15,38	12,17	3,86	12,45	14,57	16,74

При застосуванні теплового насосу значно знижується навантаження на сонячний колектор, що відповідно призводить до зменшення необхідної площі модулів сонячних колекторів та зміни об'єму баку акумулятора.

Порівняльний графік площі сонячних колекторів з урахуванням теплового насосу та без нього наведено на рис.5.



- 1 – необхідна площа сонячних модулів;
2 – необхідна площа модулів з урахуванням роботи теплового насосу

Рисунок 5 – Необхідна площа сонячних колекторів із застосуванням теплового насосу та без нього

Отримані дані характеризують середнє навантаження для кожного місяця на основі статистичних даних температур навколишнього повітря. Очевидно, що протягом більшої частини опалювального періоду цих навантажень не буде або на деякому проміжку вони будуть перевищувати розрахункові. Якщо прийняти об'єми, площі та інші параметри і необхідне устаткування у відповідності до максимальних значень, то на більшому проміжку часу їх потужність не буде використана повністю, тобто устаткування буде працювати з малим коефіцієнтом завантаження протягом року, що не є доцільним.

За результатами проведених досліджень можна

підібрати кількість модулів сонячного колектора. Для сонячного колектора Vaillant auro Therm VFK 145/2 V площа одного модуля дорівнює $F_m = 2,51 \text{ м}^2$ [1].

Тоді необхідна кількість модулів

$$n_c = \frac{F_c}{F_m}; \quad (2)$$

$$n_c = \frac{90}{2,51} = 35,86.$$

До встановлення приймаємо 36 модулів сонячного колектора.

При виборі теплоакумулятора необхідно розраховувати на деякий запас об'єму. Тобто до встановлення приймаємо бак-акумулятор ДніпроТерм ВТА-4 ємністю 8 м^3 [2].

Для розробленої системи розраховуємо потужність теплового насосу та котельного агрегату. Частку теплоти, яку вносить тепловий насос до загального балансу в опалювальний період, розраховуємо за формулою

$$Q_{hi} = \frac{Q_{ki}}{1 - \frac{1}{COP}}, \quad (3)$$

де Q_{hi} – частка теплоти, яку вносить тепловий насос до загального балансу в опалювальний період, кВт;

Q_{ki} – кількість теплоти, якою зможе забезпечити сонячний колектор середньої площі, кВт.

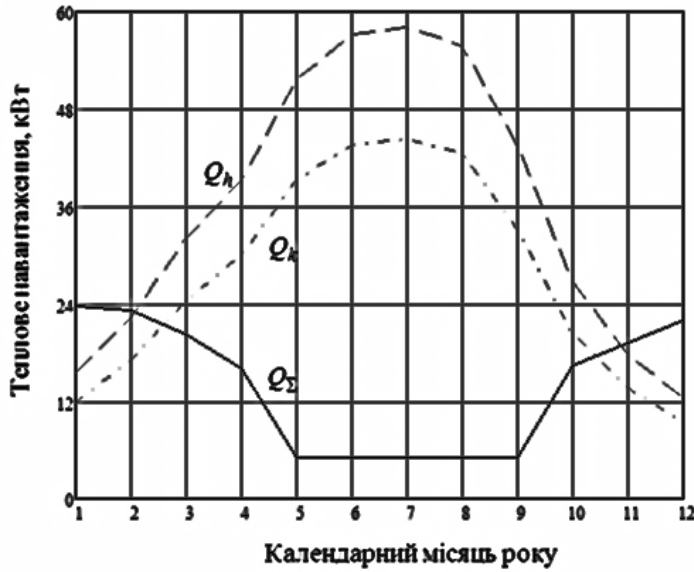


Рисунок 6 – Порівняльний графік споживання та подачі теплоти

Графічну інтерпретацію отриманих результатів наведено на рис.6.

Як видно з рис.6, необхідна теплова потужність системи тепlopостачання водно-оздоровчого комплексу при розрахунку на середні температурні параметри протягом опалювального періоду може бути покрита в листопаді, грудні, січні та лютому місяцях тільки з використанням додаткового джерела теплоти. В усіх інших місяцях року потреби в газовому котлі немає. При цьому з березня по жовтень місяць необхідною кількістю теплоти забезпечить лише енергія сонячних колекторів.

Частка теплової енергії, яка йде на забезпечення опалення, визначається з рівняння

$$Q_{hoi} = Q_{hi} - Q_{\Sigma}^3, \quad (4)$$

де Q_{hoi} – частка теплової енергії, яка йде на забезпечення опалення, кВт;

Q_{hi} – частка теплоти, яку вносить тепловий насос до загального балансу в опалювальний період, кВт;

Q_{Σ}^3 – навантаження гарячого водопостачання в опалювальний період, кВт.

Виходячи з отриманих результатів, приймаємо до встановлення тепловий насос типу вода-вода Insolar H-WCh250 теплопродуктивністю 28,5 кВт [3].

Розрахуємо частку теплової потужності, яку необхідно отримувати від газового котла:

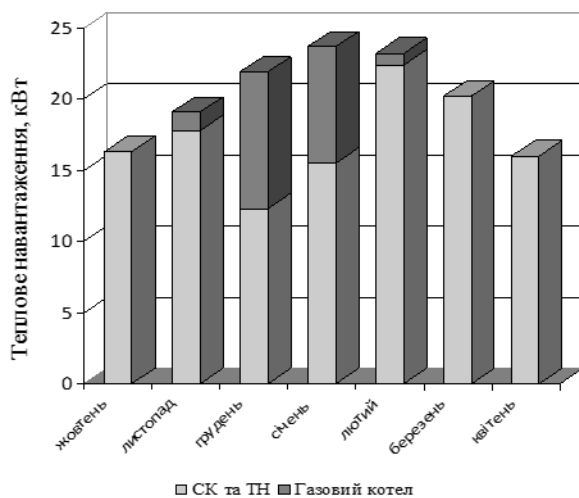


Рисунок 7 – Графік покриття теплового навантаження протягом опалювального періоду

$$Q_{gki} = Q_{\Sigma i} - Q_{hi(ki)}, \quad (5)$$

де Q_{gki} – частка теплової потужності, яку необхідно отримати від газового котла, кВт.

На рис.7 видно, що газовий котел буде використовуватися лише чотири місяці опалювального періоду, що повинно суттєво знизити витрату природного газу протягом року.

Для розрахунку зекономленої кількості палива знайдемо витрату палива для фактичного режиму роботи з використанням лише газового котла:

$$B_{\Sigma k}^{\phi} = \frac{Q_p}{Q_n^p \eta_{\Sigma k}}, \quad (6)$$

де $B_{\Sigma k}^{\phi}$ – витрата палива для фактичного

режиму роботи з використанням лише газового котла, м³;
 Q_p – річна витрата теплоти на опалення та гаряче водопостачання, Дж;
 Q_n^p – нижча робоча теплота згорання природного газу, МДж/м³;
 $\eta_{зк}$ – ККД газового котла.

Річна витрата теплоти на опалення Q_{op} складає:

$$Q_{op} = Q_{oc}\tau_o, \quad (7)$$

де τ_o – тривалість опалювального періоду, с;

Q_{oc} – середньорічне навантаження опалення, кВт.

Річна витрата теплоти на гаряче водопостачання

$$Q_{gp} = Q_{звп}^3\tau_o + Q_{звп}^l\tau_l, \quad (8)$$

де τ_l – тривалість неопалювального періоду року, с;

$Q_{звп}^l$ – навантаження гарячого водопостачання у літній період, кВт.

У відповідності до рівняння (5) визначено навантаження на газовий котел при використанні комбінованої системи тепlopостачання від сонячних колекторів та теплового насосу.

Загальна витрата теплоти, яка покривається від газового котла при розрахунковому режимі роботи, визначена з рівняння

$$Q_{зк}^p = Q_{зк1}\tau_1 + Q_{зк2}\tau_2 + Q_{зк11}\tau_{11} + Q_{зк12}\tau_{12}, \quad (9)$$

де τ_i – тривалість і-го місяця року, с.

Витрата палива на газовий котел при використанні комбінованої системи тепlopостачання визначається за допомогою наступного рівняння:

$$B_{зк}^p = \frac{Q_{зк}^p}{Q_n^p \eta_{зк}}. \quad (10)$$

Економія газу на котел визначається як різниця

$$\Delta B = B_{зк}^{\phi} - B_{зк}^p. \quad (11)$$

Результати розрахунку розробленої системи представлено в табл.3.

Таблиця 3 – Результати розрахунку розробленої системи

Назва показника	Позначення	Одиниці виміру	Результат розрахунку
1	2	3	4
1. Частка теплової енергії, яка йде на забезпечення опалення:	Q_{hoi}	кВт	
- січень			7,67
- лютий			14,59
- листопад			10,04
- грудень			4,53
2. Річна витрата теплоти на опалення	Q_{op}	Дж	$1,778 \cdot 10^{11}$
3. Річна витрата теплоти на гаряче водопостачання	Q_{gp}	Дж	$2,012 \cdot 10^{11}$

Продовження таблиці 3

1	2	3	4
4. Річна витрата теплоти на опалення та гаряче водопостачання	Q_p	Дж	$3,79 \cdot 10^{11}$
5. Витрата природного газу на котел за рік при фактичному режимі роботи	$B_{зк}^{\phi}$	м ³	12386
6. Загальна витрата теплоти яка покривається від газового котла при розрахунковому режимі роботи	$Q_{зк}^p$	Дж	$5,352 \cdot 10^{10}$
7. Витрата палива на газовий котел при використанні комбінованої системи теплопостачання	$B_{зк}^p$	м ³	1740
8. Економія газу на котел	ΔB	м ³	10646

Таким чином, при використанні розрахованої на середнє навантаження системи комбінованого теплопостачання за рік можна відпустити зовнішнім споживачам 2528 м³ гарячої води, при цьому не знижуючи власного споживання теплоти.

Висновки. В роботі досліджено роботу системи теплопостачання водно-оздоровчого комплексу з використанням геліоустановки з тепловим насосом та газовим котлом. Визначено ефективні режими роботи установки та економію первинних енергетичних ресурсів. В результаті проведених досліджень та розрахунків вибрано наступне обладнання:

- сонячний колектор Vaillant auro Therm VFK 145/2 V, площа одного модуля дорівнює 2,51 м²;
- тепловий насос типу вода-вода Insolar H-WCh250 теплопродуктивністю 28,5 кВт;
- приймаємо бак-акумулятор ДніпроТерм ВТА-4 ємністю 8 м³.

За результатами розрахунку визначено, що завдяки використанню інноваційної установки можна зменшити витрату газу більш ніж в сім разів порівняно з існуючою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Плоский солнечный коллектор: веб-сайт. URL: <https://www.vaillant.ua/dlia-klientov/products/aurotherm-vfk-145-2-v-12736.html> (дата звернення 10.06.2019).
2. Теплобак: веб-сайт. URL: <https://www.teplobak.com.ua/ru/catalog/vta/vta-4-ekonom> (дата звернення 20.06.2019).
3. Тепловой насос. веб-сайт. URL: <http://www.insolar-shop.ru/nasos-w-w.html> (дата звернення 10.06.2019).

Надійшла до редколегії 17.02.2020.