

УДК 697.329

## Вибір форми і розрахунок об'єму сезонного теплоаккумулятора

О. П. Любарець<sup>1</sup>, А. С. Москвітін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, apl\_knuba@ukr.net

<sup>2</sup>аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, anisiyaa@ukr.net

*Анотація. Однією з технологій накопичення теплової енергії в теплий період року, її зберігання та подальшого використання в опалювальний період, є створення сезонних акумуляторів теплоти. Як джерело теплоти в теплий період року для зарядки сезонного теплоаккумулятора найчастіше використовують систему сонячних колекторів. Для таких систем (сонячні колектори + сезонний теплоаккумулятор) доцільно використовувати організовані сезонні теплоаккумулятори, які розраховані на визначену кількість теплоти. В статті проводиться порівняння впливу розміщення теплоаккумулятора на вибір ефективної його форми. Викладена методика розрахунку об'єму теплоаккумулятора з урахуванням роботи системи сонячних колекторів впродовж року. Розглядається вплив роботи цілорічної системи сонячних колекторів на зменшення об'єму теплоаккумулятора. Виконана побудова графіка добового теплового навантаження на системи опалення на ГВП + надходження тепла від системи сонячних колекторів.*

*Ключові слова: бетонний теплоаккумулятор, комбінований теплоаккумулятор, сезонний теплоаккумулятор, форма сезонного теплоаккумулятора, розрахунок об'єму сезонного теплоаккумулятора.*

**Вступ.** Вичерпаність традиційних паливних ресурсів та погіршення екологічного стану довкілля надає актуальності дослідженням по відновлюваній та нетрадиційній енергетиці і необхідності залучення в енергетичний баланс України екологічно чистих джерел енергії. Перспективним напрямком є використання теплоти сонячної енергії для комунального теплопостачання, яке може забезпечити чималі потреби в теплоті навіть в умовах територій помірного клімату. Здебільшого методи використання теплової енергії сонця загалом економічно ефективні, однак частка застосування теплової сонячної енергії доволі мала. Значно підвищити ефективність використання сонячної енергії можливо при наявності сезонного акумулятора великої теплової ємності. Проблема надлишку теплоти в літній період, коли потреби в ній зменшуються, актуальна для діючих теплогенеруючих підприємств (ТЕЦ). Вона також може бути вирішена шляхом акумулювання цих надлишків з їхнім використанням в опалювальний період.

Для зменшення питомої вартості 1 ГДж акумульованої теплоти ефективна конструкція теплового акумулятора повинна мати мінімальні тепловтрати в навколишнє середовище. При виборі форми теплоаккумулятора в плані потрібно намагатися максимально спростити його форму. Оскільки найбільші тепловтрати відбуваються через стіни, бажано, щоб площа їхніх поверхонь була найменшою. Загальновідомо, що при однаковому об'ємі найменшу площу поверхні має куля. Однак будувати теплоаккумулятор у формі кулі в прагненні значно зменшити те-

пловтрати не раціонально, тому що розрахувати і конструктивно виконати теплоаккумулятор кулеподібної форми дуже складно. Для реального будівництва найкращим чином підходить конфігурація теплоаккумулятора у формі куба, оскільки в ньому площа зовнішніх поверхонь найменша. Тому для подальших розрахунків вибираємо саме таку форму. Але потрібно перевірити, як вплине на форму теплоаккумулятора його розташування, в якому випадку краще дотримуватися кубічної форми, а в якому краще використовувати паралелепіпед.

Розглянемо залежність форми теплового акумулятора від його розміщення:

перший варіант – теплоаккумулятор розміщується під будинком;

другий варіант – теплоаккумулятор довільно розташований у землі.

Для розрахунку питомих показників приймаємо об'єм теплоаккумулятора  $1 \text{ м}^3$ . Тепловтрати через будь-яку стінку теплоаккумулятора визначаються:

$$Q_{\text{те},i} = \frac{\lambda}{\delta} (t_{\text{ак}}^c - t_z) F_i, \text{ Вт}, \quad (1)$$

де,  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності стінки теплоаккумулятора,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ;  $\delta$  – товщина стінки теплоаккумулятора, м;  $t_{\text{ак}}^c$  – середня температура теплоаккумулятора впродовж опалювального періоду, визначається як півсума температури зарядки  $t_{\text{зар}}$  і розрядки  $t_{\text{роз}}$  теплового акумулятора:

$$t_{\text{ак}}^c = (t_{\text{зар}} + t_{\text{роз}}) / 2 = (140 + 55) / 2 = 97,5^\circ\text{C};$$

$t_z$  – температура ґрунту, приймаємо  $+8^\circ\text{C}$ ;  $F_i$  – площа стінок теплоаккумулятора,  $\text{м}^2$ .

Оскільки при монтуванні теплоаккумулятора найбільше впливає на його вартість глибина заглиблення, то потрібна найефективніша форма теплоаккумулятора з найменшою висотою.

Для цього позначимо довжину та ширину теплоаккумулятора –  $x$ , м, а висоту –  $y$ , м (рис.1). Конструкцію теплового акумулятора приймаємо: стіни з мінеральної вати з  $\lambda = 0,045 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ , а донна частина зі спіненого скла з  $\lambda = 0,065 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ , товщина стін  $\delta = 1,0$  м для спрощення розрахунку.

Для першого варіанта (при розташуванні теплоаккумулятора під будинком) тепловтрати через верхню частину теплоаккумулятора в опалювальний період враховуються як теплонадходження до будинку. Тоді рівняння балансу для теплоаккумулятора  $Q_{\text{бал}} = Q_{\text{теп.вт.}} - Q_{\text{теп.над.}} \rightarrow \min$ .

Тепловтрати через стіни та донну частину теплоаккумулятора

$$\begin{aligned} Q_{\text{теп.вт.}} &= (0,065 / 1,0) \cdot (97,5 - 8) \cdot x^2 + (0,045 / 1,0) \cdot 4 \cdot (97,5 - 8) \cdot xy = \\ &= 5,8175 x^2 + 16,11 xy. \end{aligned}$$

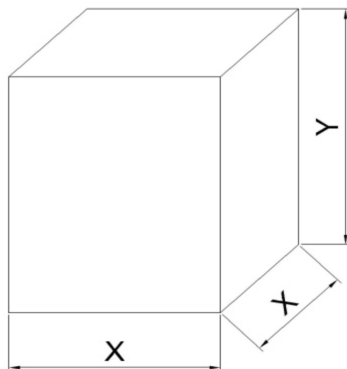


Рис. 1. Позначення розмірів теплового акумулятора для розрахунків.

Теплонадходження до будинку через верхню частину теплоакумулятора

$$Q_{\text{теп.над.}} = (0,045 / 1,0) \cdot (97,5 - 20) \cdot x^2 = 3,4875 x^2.$$

Тепловтрати в навколишнє середовище повинні бути мінімальні:

$$Q_{\text{бал}} = 2,33 x^2 + 16,11 x y \rightarrow \min.$$

Розрахунковий об'єм прийнято  $V = 1 \text{ м}^3$ . Підставляючи різні значення  $y$ , м, і виражаючи  $x = (1/y)^{0,5}$ , м, отримуємо значення  $Q_{\text{бал}}$  (табл. 1). Тобто для варіанту розміщення теплоакумулятора під будинком найефективніша форма теплоакумулятора – паралелепіпед заввишки  $y = 0,4$  м, завширшки та завдовжки  $x = 1,58$  м, але ширина і довжина теплоакумулятора не повинні виходити за межі розмірів будинку в плані.

Для другого варіанту при розміщенні теплоакумулятора довільно в землі рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q_{\text{бал}} = Q_{\text{теп.см.}} \rightarrow \min.$$

Тепловтрати через стіни теплоакумулятора

$$Q_{\text{бал}} = Q_{\text{теп.см.}} = (0,065 / 1,0) \cdot (97,5 - 8) \cdot x^2 + (0,045 / 1,0) \cdot 4 \cdot (97,5 - 8) \cdot x \cdot y + (0,045 / 1,0) \cdot (97,5 - 20) \cdot x^2 = 9,305 x^2 + 16,11 x y \rightarrow \min.$$

Таблиця 1

Перший варіант, значення  $Q_{бал}$ , Вт, залежно від висоти у, м

| Висота у, м | Ширина і довжина х, м | Тепловтрати $Q_{бал}$ , Вт |
|-------------|-----------------------|----------------------------|
| 1           | 1                     | 13,171                     |
| 0,9         | 1,0541                | 12,766                     |
| 0,8         | 1,118                 | 12,373                     |
| 0,7         | 1,1952                | 12,005                     |
| 0,6         | 1,291                 | 11,687                     |
| 0,5         | 1,4142                | 11,465                     |
| 0,4         | 1,5811                | 11,438                     |
| 0,3         | 1,8257                | 11,85                      |
| 0,2         | 2,2361                | 13,468                     |
| 0,1         | 3,1623                | 20,282                     |

Підставляючи різні значення у, м, і виражаючи  $x = (1/y)^{0,5}$ , м, отримуємо значення  $Q_{бал}$ , Вт (табл. 2).

Таблиця 2.

2-й варіант, значення  $Q_{бал}$  залежно від висоти у

| Висота у, м | Ширина і довжина х, м | Тепловтрати $Q_{бал}$ , Вт |
|-------------|-----------------------|----------------------------|
| 1           | 1                     | 18,154                     |
| 0,9         | 1,0541                | 18,302                     |
| 0,8         | 1,118                 | 18,6                       |
| 0,7         | 1,1952                | 19,122                     |
| 0,6         | 1,291                 | 19,991                     |
| 0,5         | 1,4142                | 21,43                      |
| 0,4         | 1,5811                | 23,894                     |
| 0,3         | 1,8257                | 28,457                     |
| 0,2         | 2,2361                | 38,378                     |
| 0,1         | 3,1623                | 70,103                     |

Тобто для варіанту розміщення теплоакумулятора довільно в землі найефективніша форма – куб.

Розглянемо на прикладі розрахунок об'єму теплоакумулятора, розташованого під будинком і який заряджається від сонячних колекторів. Приймаємо наступні вихідні дані для розрахунку об'єму сезонного теплоакумулятора:

1. Тепловий потік на опалення при розрахунковій зовнішній температурі на опалення –  $Q_{co} = 8080$  Вт;
2. Тепловий потік на гаряче водопостачання на 1 людину  $q_h = 247$  Вт/люд;
3. Температура найхолоднішої п'ятиденки  $t'_{o} = t_{зовн.5} = -22$  °С;
4. Тривалість опалювального періоду  $z_{oc} = 176$  діб;
5. Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний сезон  $t_{oc} = -0,1$  °С;
6. Розрахункова температура внутрішнього повітря  $t_{вн} = 20$  °С;
7. Сезонний бак-акумулятор герметичний;
8. Температуру води на ГВП приймаємо  $t_{звн} = 55$  °С;
9. Кількість осіб, що проживає,  $n = 5$ ;
10. Норма гарячої води з температурою 55 °С  $g_{звн} = 85$  л/люд.

Схема системи теплопостачання наведена на рис. 2.

Першим кроком у розрахунку об'єму сезонного теплоакумулятора є визначення кількості теплоти, яку необхідно акумулювати. Кількість теплоти, яку необхідно акумулювати в сезонному теплоакумуляторі, складається з теплоти, яка потрібна для системи опалення, та теплоти, яка потрібна для системи гарячого водопостачання, за розрахунками класичного графіку теплового навантаження [1]. Річна витрата теплоти для системи опалення розраховується за формулою:

$$W_{co} = \frac{3,6 \cdot 24 \cdot 10^{-6} Q_{co} S_{oc} a b c}{t_{вн} - t_{зовн.5}} = \frac{8,64 \cdot 10^{-5} Q_{co} S_{oc} a b c}{t_{вн} - t_{зовн.5}}, \text{ ГДж/рік} \quad (2)$$

або

$$W_{co} = \frac{24 \cdot 10^{-3} Q_{co} S_{oc} a b c}{t_{вн} - t_{зовн.5}}, \text{ кВт·год/рік}, \quad (3)$$

де 3,6 - перевідний коефіцієнт;  $Q_{co}$  – розрахункова теплова потужність системи опалення, Вт; 24 – кількість годин у добі;  $t_{oc}$  – середня температура зовнішнього повітря опалювального сезону, °С;  $S_{oc}$  – кількість градусо-днів опалювального сезону;  $t_{вн}$  – розрахункова температура внутрішнього повітря, °С;  $t_{зовн.5}$  – середня температура зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки, °С;  $a = 1$  - коефіцієнт, який необхідно враховувати, якщо система опалення обладнана приладами автоматичного зменшення теплової потужності у неробочий час;

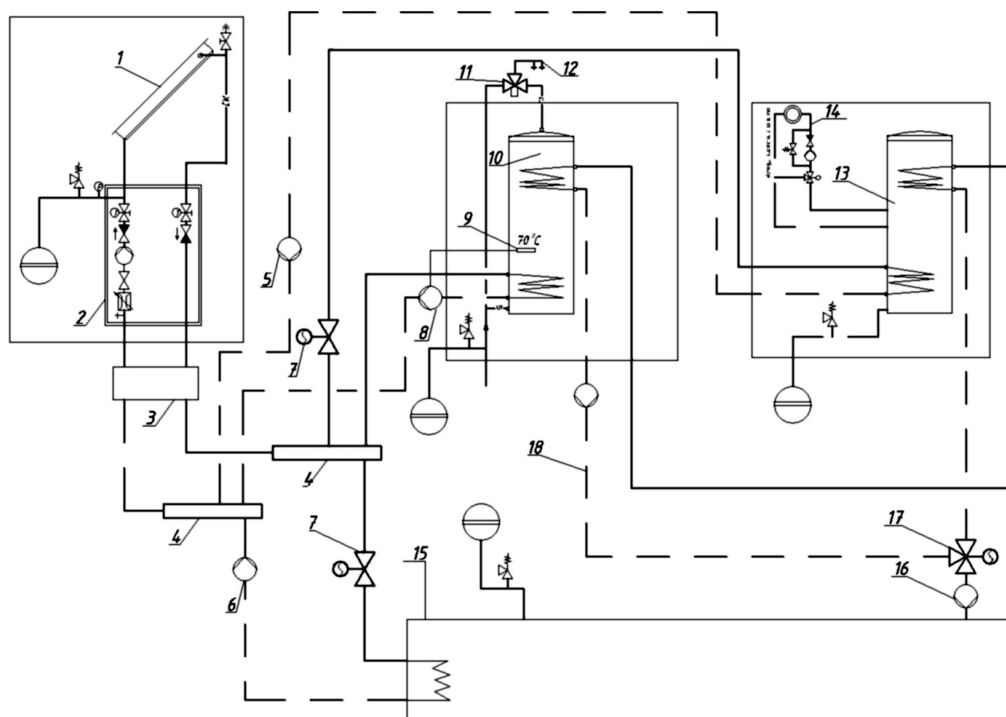


Рис.2. Принципова схема системи децентралізованого теплопостачання з сезонним акумулятором теплоти та сонячними колекторами:

1 – система сонячних колекторів; 2 – насосний вузол системи сонячних колекторів; 3 – гідравлічна стрілка; 4 – розподільчий колектор; 5 – насос на буферну ємність системи опалення; 6 – насос на сезонний акумулятор теплоти; 7 – двохпозиційний клапан; 8 – насос бойлера гарячого водопостачання (ГВП); 9 – термічний датчик вмикання/вимикання насоса по температурі; 10 – бойлер ГВП; 11 – термозмішувальний клапан системи ГВП (для отримання постійної температури гарячої води); 12 – до споживачів системи ГВП; 13 – буферна ємність системи опалення; 14 – контур системи опалення; 15 – сезонний акумулятор теплоти; 16 – насос теплопостачання систем ГВП та опалення від сезонного акумулятора теплоти; 17 – трьохходовий переключальний клапан; 18 – байпасна лінія з насосом для системи ГВП для використання буфера системи опалення в теплий період року як короткостроковий акумулятор теплоти для системи ГВП.

$b = 0,9$  - коефіцієнт, котрий необхідно враховувати, якщо більше 75 % опалювальних приладів обладнані автоматичними терморегуляторами;  $c = 1$  - коефіцієнт, який треба врахувати, якщо на абонентському уводі (в ІТП) встановлені прилади автоматичного пофасадного регулювання.

Визначимо кількість градусо-днів опалювального сезону:

$$S_{oc} = (t_{вн} - t_{o.c.}) Z_{o.c.}, \text{град-дїб.} \quad (4)$$

За формулою (4)  $S_{oc} = (20 + 0,1) \cdot 176 = 3537,6$  град.-дїб. Тоді річна витрата теплоти системою опалення становить:

$$W_{co} = \frac{8,64 \cdot 10^{-5} \cdot 8080 \cdot 3537,6 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1}{20 - (-22)} = 52,9 \text{ ГДж/рік}$$

або

$$W_{co} = \frac{24 \cdot 10^{-3} \cdot 8080 \cdot 3537,6 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1}{20 - (-22)} = 14700 \text{ кВт·год/рік.}$$

Витрата теплоти в системі гарячого водопостачання впродовж опалювального періоду:

$$W_{hm}^P = 3,6 \cdot 24 \cdot 10^{-6} Q_{hm} Z_{oc} = 8,64 \cdot 10^{-5} Q_{hm} Z_{oc}, \text{ ГДж} \quad (5)$$

або

$$W_{hm}^P = 24 \cdot 10^{-3} Q_{hm} Z_{oc}, \text{ кВт·год,} \quad (6)$$

де  $Q_{hm}$  – навантаження на систему ГВП, Вт, що визначається за формулою:

$$Q_{hm} = q_h n. \quad (7)$$

Розрахунок ведемо на  $n = 5$  осіб. Середній тепловий потік на ГВП  $Q_{hm} = 1235$  Вт.

$$W_{hm}^P = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot 1235 \cdot 176 = 18,8 \text{ ГДж}$$

або

$$W_{hm}^P = 24 \cdot 10^{-3} \cdot 1235 \cdot 176 = 5220 \text{ кВт·год.}$$

Витрата теплоти в системі гарячого водопостачання впродовж неопалювального періоду  $W_{hm}^{Pl}$  визначається за формулою (5) але замість значення  $Z_{oc}$  підставляємо значення  $365 - Z_{oc}$ , а середній тепловий потік на ГВП:

$$Q_{hm}^s = Q_{hm} \frac{t_h - t_x^n}{t_h - t_x} \beta, \quad (8)$$

де  $t_h$  – температура гарячої води в системі ГВП, приймаємо  $55^\circ\text{C}$ ;

$t_x$  – температура холодної води в опалювальний період, °C;  $t_x^{\text{н}}$  – температура холодної води в неопалювальний період, °C;  $\beta$  – коефіцієнт, який враховує зміну середньої витрати гарячої води в неопалювальний період, порівнюючи з опалювальним періодом.

Оскільки даний об'єкт – котедж, – то  $t_x = t_x^{\text{н}} = 5$  °C, а коефіцієнт  $\beta = 1$ . Тобто

$$Q_{hm} = Q_{hm}^s = 1235 \text{ Вт};$$

$$W_{hm}^{Pl} = 8,64 \cdot 10^{-5} \cdot 1235 \cdot 189 = 20,2 \text{ ГДж}$$

або

$$W_{hm}^{Pl} = 24 \cdot 10^{-3} \cdot 1235 \cdot 189 = 5600 \text{ кВт·год.}$$

Річна витрата теплоти:

$$W_{\text{річ}} = W_{co} + W_{hm}^{Pl} + W_{hm}^P = 52,9 + 20,2 + 18,8 = 91,9 \text{ ГДж/рік}$$

або

$$W_{\text{річ}} = W_{co} + W_{hm}^{Pl} + W_{hm}^P = 14700 + 5600 + 5220 = 25520 \text{ ГДж/рік.}$$

Загальна кількість теплоти, яку необхідно акумулювати, в сезонному теплоакумуляторі:

$$W_{\text{заг}} = W_{co} + W_{hm}^P = 52,9 + 18,8 = 71,7 \text{ ГДж.}$$

Цей метод розрахунку неточний, оскільки не враховує надходження сонячної радіації впродовж всього року.

Для визначення об'єму сезонного теплоакумулятора потрібно побудувати графік річного споживання теплоти системами опалення та гарячого водопостачання, а також графік надходження теплоти від сонячного колектора впродовж року, в якому показана щоденна динаміка потреб енергії на теплопостачання та надходження сонячної енергії.

Для зручнішої побудови графіка річного споживання теплоти виконуємо апроксимацію даних середньомісячної температури за [2]. Апроксимацію виконуємо за допомогою програми Aproxim. У результаті отримуємо багаточлен 4 степеня

$$Y = A_0 + A_1 x + A_2 x_2 + A_3 x_3 + A_4 x_4, \quad (9)$$

де  $A_0 = 8,287241$ ;  $A_1 = -0,2041129$ ;  $A_2 = -1,072438 \cdot 10^{-4}$ ;  $A_3 = 1,049703 \cdot 10^{-5}$ ;  $A_4 = -2,047809 \cdot 10^{-8}$ . Похибка становить  $E = 0,063500$  тобто 6,35%.

Теплове навантаження в системі опалення залежно від температури зовнішнього повітря визначається за залежністю:

$$Q_{co}^i = Q_{co} \frac{t_{вн} - t_i}{t_{вн} - t_0'}, \text{ Вт}, \quad (10)$$

де  $t_i$  – будь-яка температура зовнішнього повітря протягом опалювального сезону, °С.

На основі цих даних будуюмо графік теплоспоживання системами опалення та ГВП впродовж року (рис. 3).

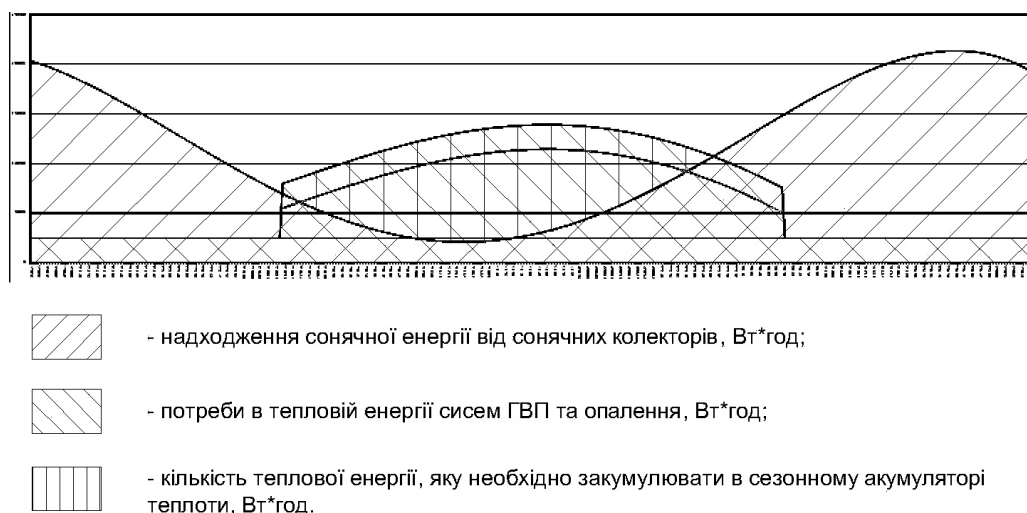


Рис. 3. Графік теплового навантаження на системи опалення, ГВП та теплонадходження від системи сонячних колекторів

Розраховуємо кількість теплоти, необхідну для покриття потреб на ГВП в день:

$$W_{гвп}^0 = G_{гвп} c_v (t_z - t_x), \text{ Дж}, \quad (11)$$

де  $G_{гвп}$  – кількість гарячої води в день, л/день;  $c_v$  – питома теплоємність води,  $c_v = 4187 \text{ Дж/(кг } ^\circ\text{C)}$ ;  $t_z$  – температура гарячої води,  $t_z = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $t_x$  – температура холодної води,  $t_x = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

$$G_{гвп} = g_{гвп} n. \quad (12)$$

Кількість гарячої води на день  $G_{\text{гвп}} = 85 \cdot 5 = 425$  л/день. Тоді

$$W_{\text{гвп}}^{\text{д}} = 425 \cdot 4187 \cdot (55 - 5) = 88973750 \text{ Дж/день або } 24,72 \text{ кВт}\cdot\text{год/день}.$$

Розраховуємо кількість теплоти, необхідну для покриття потреб на опалення в день:

$$W_{\text{он}}^i = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{\text{он}}^i = 86400 Q_{\text{он}}^i, \text{ Дж}, \quad (13)$$

де  $Q_{\text{он}}^i$  - навантаження на опалення (рис. 3) залежно від температури зовнішнього повітря, Вт.

Наступним кроком буде визначення кількості сонячної енергії, що надходить. Для цього потрібно визначити площу сонячного колектора і річне надходження сонячної радіації.

На основі дослідницьких даних складені графіки надходження сонячної радіації, з яких визначаємо річне надходження сонячної радіації (рис. 4 [3] та рис.5 [4]).

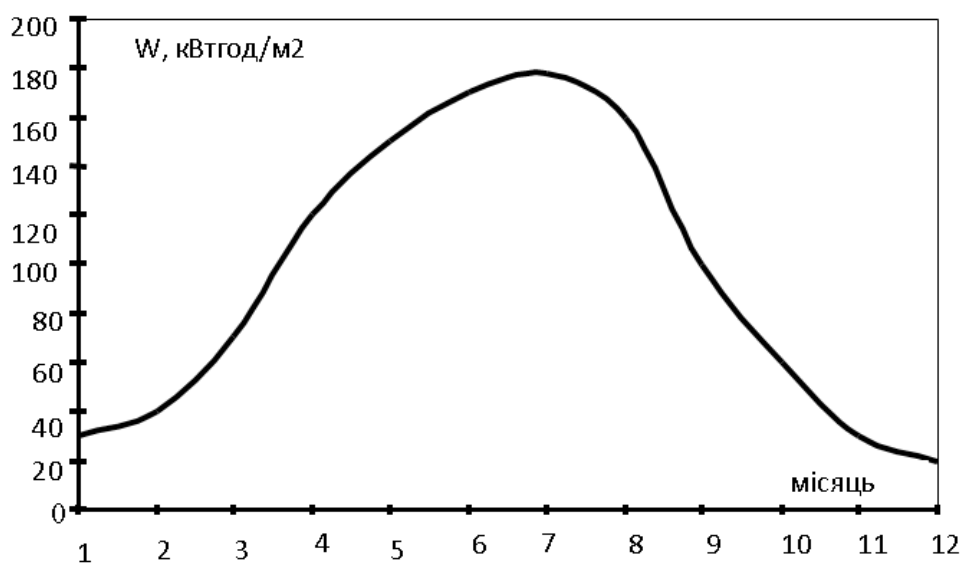


Рис. 4. Середньорічне надходження сонячної енергії

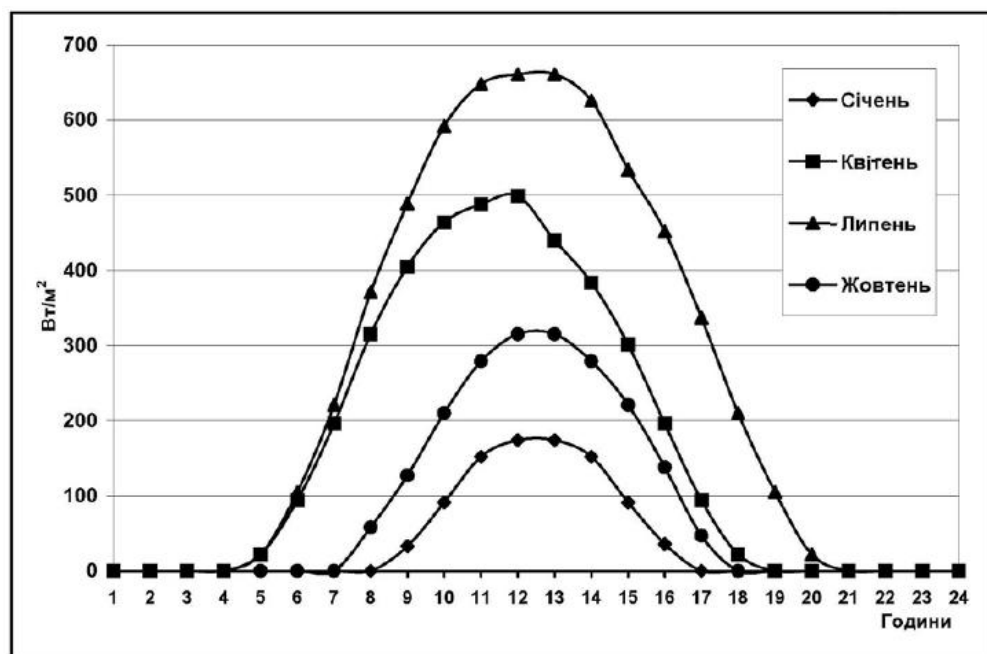


Рис.5. Інтенсивність добової сумарної сонячної радіації в м.Київ

Розраховуємо необхідну площу сонячних колекторів:

$$A = \frac{W_{річн}}{W_{літ}^{c.p.} \cdot \eta}, \text{ м}^2, \quad (14)$$

де  $W_{річн} = 25700$  кВт·год/рік – річна витрата теплоти на опалення та ГВП;  
 $W_{літ}^{c.p.} = 830$  кВт·год/рік – річне надходження сонячної радіації;  $\eta$  – ККД сонячного колектора, що для плоских колекторів дорівнює 0,6 [5]. Числові значення, отримані за розрахунковими даними табл. 3, враховуючи те, що період зарядки теплоаккумулятора триває з кінця квітня до початку жовтня. Тоді  $A = 25700 / (830 \cdot 0,6) = 52 \text{ м}^2$ .

Для побудови графіка теплонадходження від сонячного колектора робимо апроксимацію середньомісячного добового надходження сонячної радіації, кВт/м², у програмі Aproksim. У результаті отримуємо багаточлен 4 ступеня (9) з коефіцієнтами  $A_0 = 3,457757$ ;  $A_1 = -0,0140787$ ;  $A_2 = -2,682738 \cdot 10^{-4}$ ;  $A_3 = 1,9613 \cdot 10^{-6}$ ;  $A_4 = -3,077561 \cdot 10^{-9}$ . Похибка становить  $E = 0,070976 = 7,10 \%$ .

Визначаємо надходження сонячної радіації за день:

$$Q_{c.p.}^i = A W_i, \text{ кВт·год}, \quad (15)$$

Таблиця 3.

Середньомісячне надходження сонячної радіації

| Місяць   | Кількість днів у місяці | Надходження сонячної радіації за місяць, кВт·год/(м²·рік) | Середньомісячне добове надходження радіації, Вт·год/м² | Середньомісячне добове надходження радіації, кВт·год/м² |
|----------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Липень   | 31                      | 176,00                                                    | 3406,45                                                | 3,41                                                    |
| Серпень  | 31                      | 147,00                                                    | 2845,16                                                | 2,85                                                    |
| Вересень | 30                      | 104,00                                                    | 2080,00                                                | 2,08                                                    |
| Жовтень  | 31                      | 62,80                                                     | 1215,48                                                | 1,22                                                    |
| Листопад | 30                      | 24,70                                                     | 494,00                                                 | 0,49                                                    |
| Грудень  | 31                      | 18,40                                                     | 356,13                                                 | 0,36                                                    |
| Січень   | 31                      | 26,70                                                     | 516,77                                                 | 0,52                                                    |
| Лютий    | 28                      | 41,70                                                     | 893,57                                                 | 0,89                                                    |
| Березень | 31                      | 85,30                                                     | 1650,97                                                | 1,65                                                    |
| Квітень  | 30                      | 113,00                                                    | 2260,00                                                | 2,26                                                    |
| Травень  | 31                      | 161,00                                                    | 3116,13                                                | 3,12                                                    |
| Червень  | 30                      | 181,00                                                    | 3620,00                                                | 3,62                                                    |
| Липень   | 31                      | 176,00                                                    | 3406,45                                                | 3,41                                                    |

де  $W_i$  – надходження сонячної радіації за день, кВт·год/рік.

На основі цих даних будуюмо графіки річного споживання теплоти системами опалення та гарячого водопостачання і річного надходження теплоти від сонячного колектора (рис. 3).

Розраховуємо об'єм теплоаккумулятора. Теплоаккумулятор складається з утепленого резервуара, який заповнений теплоакмулювальним матеріалом, у якому розташовані змієвики зарядження та розрядження. Виходячи з розрахунків [6] економніше за все з урахуванням робочої температури теплоаккумулятора побудувати теплоаккумулятор з бетону та гліцерину. Основний матеріал теплоаккумулятора – бетон.

Теплота, яку необхідно закумулювати, визначається як

$$W_{ак} = W_{заг}^K - W_{с.о.п.}, \text{ ГДж}, \quad (16)$$

де  $W_{заг}^K$  – кількість теплоти, яку необхідно акумулювати в теплоаккумуляторі без урахування надходження теплоти від сонячних колекторів в опалювальний період, кВт·год, яку визначаємо з рис. 3;  $W_{с.о.п.}$  – кількість теплоти від сонячних колекторів в опалювальний період, кВт·год, яку визначаємо з рис. 3.

Загальна площа сонячних колекторів становить 52 м². За рис. 3. кількість теплоти від сонячних колекторів в опалювальний період, з урахуванням ККД соня-

чних колекторів 0,6,  $W_{c.o.n.} = 6428$  кВт·год або 23,14 ГДж. За формулою (16)

$$W_{ак} = 69,47 - 23,14 = 46,33 \text{ ГДж.}$$

Маса теплоакумулювального матеріалу та об'єм сезонного теплоаккумулятора визначаються за залежностями:

$$G = \frac{W_{ак}}{c(t_{зар} - t_{роз})}, \text{ кг;} \quad (17)$$

$$V = G / \rho, \text{ м}^3, \quad (18)$$

де  $G$  – кількість теплоакумулювального матеріалу, кг;  $t_{зар}$  – температура теплоносія при зарядці баку, °C;  $t_{роз}$  – температура теплоносія при розрядці баку, °C;  $c$  – питома теплоємність теплоакумулювального матеріалу, Дж/(кг·°C);  $\rho$  – густина теплоакумулювального матеріалу, кг/м<sup>3</sup>. Значення густини та питомої теплоємності приймаємо за [7]. Тоді

$$G = \frac{46,33 \cdot 10^9}{1130 \cdot (140 - 55)} = 482353 \text{ кг,}$$

$$V = 482353 / 2242 = 215, \text{ м}^3.$$

Розміри теплоаккумулятора приймаємо з урахуванням того, що розміри будинку в плані 10х9м: 8х8х3,36(н) м.

**Висновки.** При розміщенні теплоаккумулятора під будинком найефективніша форма для нього – паралелепіпед зі співвідношенням ширини, довжини і висоти 1,58:1,58:0,4, але з шириною і довжиною не більше розмірів будинку в плані. При розміщенні теплоаккумулятора довільно в ґрунті найефективніша форма для нього – куб. Подобовий графік навантаження на систему опалення залежно від зовнішньої температури і подобовий графік надходження сонячної радіації дозволяє точніше розрахувати необхідні теплові навантаження на систему опалення. Викладена методика розрахунку об'єму теплового акумулятора з урахуванням надходження сонячної радіації впродовж року.

### Література

1. Примак А.І. Автономні екологічно чисті системи теплопостачання з сезонними підземними акумуляторами теплоти: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.08 / А.І. Примак; НАН України, Ін-т відновлюв. енергетики. - К., 2009. - 197 с.
2. ДСТУ-Н Б. В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія"– Чинні від 01.11.2011. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
3. Величко С.А. Природно-ресурсне забезпечення гібридних геліо-вітроенергети-

чних систем (в межах рівнинної території України) : дис. канд. геогр. наук: 11.00.11 / Харківський національний ун-т ім. В.Н.Каразіна. — Х., 2006. — 296 с.

4. Рабінович М.Д. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії в системах теплогазопостачання: Навчальний посібник. — К.: КНУБА, 2007. — 132 с.

5. Viessmann Книга о "Солнце". Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения. - К. «Злато-Граф», 2010. — 193 с.

6. Любарець О.П., Москвітін А.С. Техніко-економічне обґрунтування використання теплоакмулюючих матеріалів для систем міжсезонного сонячного теплопостачання / О.П. Любарець, А.С. Москвітін // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. — 2014. — Вип. 17. — с. 115-119.

7. ДБН В.2.6-31:2006 – Чинні від 2007-01-01 (з зміною № 1 від 1.07.2013 г.) / Мінбуд України — К. : Укрархбудінформ, 2006. — 65 с.

### References

1. Prymak A.I. *Avtonomni ekologichno chysti systemy teplopostachannia z sezonnymy pidzemnymy akumuliatoramy teploty*. Diss. In-t vidnovliuv. energetyky. 2009.

2. DSTU-N B. V.1.1-27:2010. *Budivelna klimatologiya*. Ukrarkhbudinform, 2011.

3. Velychko S.A. *Pryrodno-resursne zabezpechennia gibrydnykh gelio-vitroenergetychnykh system (v mezhakh rivnynoi terytorii Ukrainy)*. Diss. Kharkivskyi natsionalnyi un-t im. V. N. Karazina, 2006.

4. Rabinovych M.D. *Netradytsiini ta ponovluvani dzherela energii v systemakh teplogasopostachannia*. Navchalnyi posibnyk. KNUBA, 2007.

5. Viessmann. *Kniga o "Solntse"*. Rukovodstvo po proektirovaniu sistem solnechnogo teplosnabzheniia, «Zlato-Grat», 2010

6. Liubarets O.P., Moskvitina A.S. "Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannia vykorystannia teploakkumuluiuchikh materialiv dlia system mizhsezonnogo soniachnogo teplopostachannia." *Ventyliatsiia, osvittleniia ta teplofazopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 17, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2014, pp. 115-119.

7. DBN V.2.6-31:2006 *Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvallia*, Ukrarkhbudinform, 2006

УДК 697.329

## Выбор формы и расчёт объёма сезонного теплоаккумулятора

А.П. Любарец<sup>1</sup>, А.С. Москвитина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, apl\_knuba@ukr.net

<sup>2</sup>аспирант, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, anisiyaa@ukr.net

Аннотация. Одной из технологий накопления тепловой энергии в тёплый период года, её сохранения и дальнейшего использования является создание сезонных теплоаккумуляторов. В качестве источника теплоты в тёплый период года для зарядки сезонного теплоаккумулятора чаще всего используют систему солнечных коллекторов. Для таких систем (солнечные коллекторы + сезонный тепло-

аккумулятор) целесообразно использовать организованные сезонные теплоаккумуляторы, которые рассчитаны на определённое количество теплоты. В статье проводится сравнение влияния размещения теплоаккумулятора на выбор его формы. Показана методика расчёта объёма теплоаккумулятора с учётом работы системы солнечных коллекторов в течении года. Рассматривается влияние работы круглогодичной системы солнечных коллекторов на уменьшение объёма теплоаккумулятора. Выполнено построение графика ежедневной тепловой нагрузки на системы отопления и ГВС + поступления теплоты от системы солнечных коллекторов.

*Ключевые слова:* бетонный теплоаккумулятор; комбинированный теплоаккумулятор; сезонный теплоаккумулятор; форма сезонного теплоаккумулятора; расчёт объёма сезонного теплоаккумулятора.

UDC 697.329

## The Choice of Shape and Volume Calculation of Seasonal Heat Accumulator

O. Liubarets<sup>1</sup>, A. Moskvitina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, apl\_knuba@ukr.net

<sup>2</sup>post-graduate student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, anisiyaa@ukr.net

*Abstract.* One of the thermal energy storage technologies during the warm season, its preservation and future use is to create seasonal heat accumulators. As a source of heat during the warm period of the year for charging the seasonal heat storage a system of solar collectors is often used. For such systems (solar collectors + seasonal heat accumulator), the organized seasonal heat accumulators should be used, which are designed for a certain amount of heat. In this article there is a comparison of the influence of the placement of the heat accumulator to the choice of its shape. The method of calculation of the heat accumulator volume is proposed, taking into account the work of solar collector system throughout the year. Influence of work of year-round system of solar collectors on reduction of volume of the thermal accumulator is considered. Accomplished plotting the daily thermal load on the heating system and hot water + heat comes from solar collectors system.

*Keywords:* concrete heat accumulator; combined heat accumulator; seasonal heat accumulator; shape of seasonal heat accumulator; calculation of the volume of seasonal heat storage.

Надійшла до редакції 7 грудня 2016 р.