

DOI: 10.32347/2076-815x.2021.77.475-486

УДК 697.329

к.т.н., доц. **Човнюк Ю.В.**,
uchovnyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0608-0203,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України, м. Київ,
доцент **Чередніченко П.П.**,
petro_che@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7161-661X,
Москвітіна А.С.,
moskvitina.as@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-3352-0646,
Шишина М.О.,
shyshyna.mo@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9384-7662,
Київський національний університет будівництва і архітектури

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АКУМУЛЯТОРУ ТЕПЛОТИ З РІДКИМ ТА ТВЕРДИМ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИМ МАТЕРІАЛОМ

Вичерпаність традиційних паливних ресурсів та погіршення екології довкілля, збільшення викидів в атмосферне повітря надає актуальності дослідженням по відновлюваній 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 помірною 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. Для таких систем (геліоколектори + сезонний теплоакумулятор) доцільно використовувати організовані сезонні теплоакумулятори, які розраховані на визначену кількість теплоти. Розроблено методіку розрахунку конструктивних елементів акумулятору теплоти з рідким та твердим теплоакумуляюючим матеріалом з урахуванням тепловтрат акумулятору теплоти та особливостей ґрунтів в місці будівництва.

Ключові слова: сезонний акумулятор теплоти, конструкція сезонного акумулятора теплоти, теплоємнісний акумулятор теплоти, теплоакумуляюючий матеріал, форма сезонного теплового акумулятора.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вичерпаність традиційних паливних ресурсів та погіршення екології довкілля, збільшення викидів в атмосферне повітря надає актуальності дослідженням по відновлюваній 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 [1]. Значно підвищити ефективність використання сонячної енергії можливо при наявності сезонного акумулятора великої теплової ємності [2-5]. Проблема надлишку теплоти в літній період, коли потреби в ній зменшуються, актуальна для діючих теплогенеруючих підприємств (ТЕЦ). Вона також може бути вирішена шляхом акумуляування цих надлишків з їх використанням в опалювальний період [6-10]. Досвід експлуатації неорганізованих сезонних ґрунтових акумуляторів теплоти вказує на малу ефективність такого зберігання теплоти в наслідок значних тепловтрат в оточуючий масив ґрунту. Адже температура теплоносія від сонячного колектора може сягати 120-140⁰С, а середньорічна температура оточуючого необмеженого масиву ґрунту близько +8⁰С.

Для таких систем (геліоколектори + сезонний теплоакумулятор) доцільно використовувати організовані сезонні теплоакумулятори, які розраховані на визначену кількість теплоти. Під організованим сезонним акумулятором теплоти розуміється теплоакумуляуюча система, яка складається з теплоізолюваного [11,12] резервуару для зберігання теплоакумуляуючого матеріалу (ТАМ) та теплоносія, що використовується для транспортування теплоти до ТАМу при її акумуляуванні в теплий період та теплопостачанні в холодний період року від ТАМу до енергоспоживаючих систем (опалення, гарячого водопостачання, тощо) [13-16]. Тому, метою є створення екологічно чистих, енергозберігаючих систем теплопостачання з використанням сонячної енергії на базі сезонного акумулятора теплоти, який буде відповідати наступним основним вимогам:

- приймати та віддавати теплоту з максимальною інтенсивністю;
- мати як найменший об'єм;
- акумуляувати теплоносій з температурою більше 100⁰С;
- витримувати велику кількість циклів без суттєвого зменшення потужностей акумулятора;
- мати недорогі капітальні та експлуатаційні затрати, бути простим в подальшій експлуатації.

Актуальність дослідження. З підписанням Угоди про асоціацію з ЄС Україна прийняла ряд зобов'язань щодо зменшення витрат первинної енергії, у т.ч. і системами опалення, вентиляції кондиціонування повітря та зменшити енергозатратність виробництва. Поряд з цим потребує вирішення і проблема забруднення довкілля, викликана збільшенням викидів забруднювальних речовин у атмосферне повітря. Все це вимагає проектування надійних і ефективних систем акумулювання енергії [20], які не тільки забезпечать стабільне енергопостачання споживачів, але і підвищать коефіцієнт використання енергії за рахунок накопичення пікової і низькопотенційної енергії [17]. Комплексний розгляд цих вимог дозволив запропонувати конструкцію акумулятора теплоти з твердим та рідким теплоакumuлюючим матеріалом [18], в якому досягається більш рівномірний розподіл температур в об'ємі теплового акумулятора.

Формулювання цілей статті. Мета даної роботи полягає у обґрунтуванні методики розрахунку конструктивних елементів акумулятора теплоти з твердим та рідким теплоакumuлюючим матеріалом.

Виклад основного матеріалу. Область акумулятора теплоти обмежена зовнішнім контуром об'єму $V_{ак}$ і знаходиться у теплоізолюваному кожусі з температурою T_0 . $V_{ак}=XYZ$. Питання про оптимальну форму акумулятора теплоти можна наближено розв'язати с позицій мінімізації обмежуючи поверхні $S_{ак}$ області акумулятора $V_{ак}=V_0$, оскільки через поверхню $S_{ак}$ «дрейфує» теплота в оточуюче середовище.

$$\Phi = \frac{S_{ак}}{V_{ак}} = \frac{\chi \cdot X^2}{V_{ак}} + 2 \cdot \left(1 + \frac{1}{\chi}\right) \cdot \frac{1}{X}, \Phi(X) \rightarrow \min. \quad (1)$$

де, χ – відношення сторін акумулятору.

Дослідження на екстремум $\Phi(X)$ (1) дає:

$$\begin{cases} X^* = V_0^{1/3} \cdot \left\{ \frac{1 + \frac{1}{\chi}}{\chi} \right\}^{1/3}; \\ Y^* = \chi \cdot V_0^{1/3} \cdot \left\{ \frac{1 + \frac{1}{\chi}}{\chi} \right\}^{1/3}; \\ Z^* = \frac{V_0^{1/3}}{\chi} \cdot \left\{ \frac{\chi}{1 + \frac{1}{\chi}} \right\}^{1/3}. \end{cases} \quad (2)$$

Легко показати, що (2) відповідає $\min \Phi(X)$. При $\chi=1$ з (2) маємо:

$$\begin{cases} X^* = V_0^{1/3} \cdot \left\{ \frac{1+1}{1} \right\}^{1/3} = \sqrt[3]{2} \cdot V_0^{1/3} \approx 1,26 \cdot V_0^{1/3}; \\ Y^* = \chi \cdot V_0^{1/3} \cdot \left\{ \frac{1+1}{1} \right\}^{1/3} = \sqrt[3]{2} \cdot V_0^{1/3} \approx 1,26 \cdot V_0^{1/3}; \\ Z^* = \frac{V_0^{1/3}}{1} \cdot \left\{ \frac{1}{1+1} \right\}^{1/3} = \frac{V_0^{1/3}}{\sqrt[3]{2}} \approx 0,794 \cdot V_0^{1/3}. \end{cases} \quad (3)$$

Тобто для $\chi=1$ цей критерій оптимальності форми показує, що форма акумулятора теплоти є паралелепіпед зі сторонами $X^*=Y^*$ (2), а висота його визначається $Z^*(2)$ для будь-якого значення χ ($\chi \in (0, +\infty)$), $\chi > 0$. При $\chi=1$ значення $X^* = Y^* = \sqrt[3]{2} \cdot V_0^{1/3}$, $Z^* = \frac{V_0^{1/3}}{\sqrt[3]{2}}$, тобто висота паралелепіпеда у $\sqrt[3]{4} \approx 1,587$ разів менша за сторону основи цього паралелепіпеда, яка є квадратом.

При $\chi \neq 1$ у висота паралелепіпеда Z^* у $(\chi + 1)^{2/3}$ менше за сторону основи (квдрату зі стороною X^* (2)).

Останній результат приваблює тим що глибина закладання акумулятора теплоти зменшується у $(\chi + 1)^{2/3}$ разів ($\chi \neq 1$, $\chi > 0$), а при $\chi=1$ - зменшується у $\sqrt[3]{4} \approx 1,587$ разів.

У результаті розв'язку оптимізаційної задачі отримані вирази для X, Y, Z , як функції ($S, \rho_b, V_0, [\sigma_0]$) та для R, R_1 (при $\chi=1$). Крім того, отримані вирази для X^*, Y^*, Z^* , як функції V_0 та χ (для $\chi \in (0, +\infty)$). Підстановка залежностей, які отримані для геометричних параметрів акумулятора у залежності для \tilde{V}_a за відомих $S, \chi, \tau, a_b, \rho_b, V_0, [\sigma_0]$ дає рівняння $\tilde{V}_a = f(V_0)$, яке однозначно визначає V_0 , коли задане значення \tilde{V}_a . При цьому: S – площа фундаменту будівлі/споруди під якою знаходиться акумулятор теплоти; τ – інтервал часу; a_b – коефіцієнт температуропровідності бетону; ρ_b – густина бетону; σ_0 – граничне значення змінання ґрунтового масиву у місці будівництва акумулятора теплоти.

$$V_a = V_0 + V_{\text{буф}} = X \cdot Y \cdot Z + 2(X \cdot Y + Y \cdot Z + X \cdot Z) \cdot R + (X + Y + Z) \cdot R^2 + 8 \cdot R^3; \quad (4)$$

$$(X + 2R) \cdot (Y + 2R) = S; \quad (5)$$

де, $V_{\text{буф}}$ – буферна область, що оточує акумулятор теплоти, яка розрахована на компенсацію тепловтрат акумулятору теплоти (рис. 1). Підбір товщини теплової ізоляції теплового акумулятора та методика розрахнку тепловтрат теплового акумулятора наведена в [19].

Якщо немає обмежень по відношенню до форми акумулятора слід намагатися виконувати умову $\chi \rightarrow 1$ ($\chi=1$).

У зв'язку з наближеним критерієм якості конструкції акумулятора знайдено значення R , та R_1 .

При $\chi \neq 1$:

$$\tilde{R}_1 = -\frac{X}{4} \cdot (1 + \chi) + \frac{1}{4} \cdot \left\{ (1 - \chi)^2 \cdot X^2 + 4S \right\}^{1/2}, \tilde{R}_1 > 0. \quad (6)$$

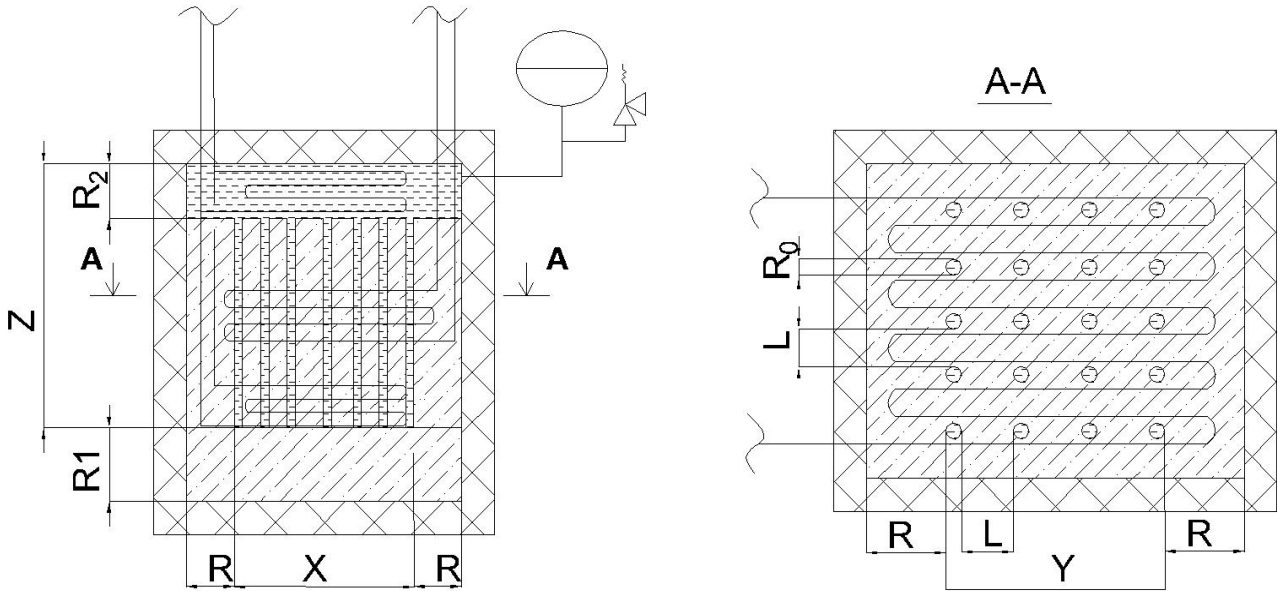


Рис.1. Вид та розріз акумулятора теплоти з рідким та твердим теплоакумлюючим матеріалом.

Підставляючи у (6) X^* з (2) маємо:

$$\begin{aligned} \tilde{R}_1 &= -\frac{X^*}{4} \cdot (1 + \chi) + \frac{1}{4} \cdot \left\{ (1 - \chi)^2 \cdot (X^*)^2 + 4S \right\}^{1/2} = \\ &= -\frac{X^*}{4} \cdot (1 + \chi) + \frac{1}{4} \cdot X^* \cdot \left\{ (1 - \chi)^2 + \frac{4S}{(X^*)^2} \right\}^{1/2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Отже, при $\chi \neq 1$ маємо для R наступний результат:

$$\tilde{R}_1 = -\frac{1}{4} \cdot (1 + \chi) \cdot V_0^{1/3} \cdot \frac{(1 + \chi)^{1/3}}{\chi^{2/3}} + \frac{1}{4} \cdot \left\{ (1 - \chi)^2 \cdot V_0^{2/3} \cdot \frac{(1 + \chi)^{2/3}}{\chi^{4/3}} + 4S \right\}^{1/2}. \quad (8)$$

Остаточно, для $\chi \neq 1$ маємо для R :

$$\tilde{R}_1 = -\frac{1}{4} \cdot V_0^{1/3} \cdot \frac{(1 + \chi)^{4/3}}{\chi^{2/3}} + \frac{1}{4} \cdot \left\{ (1 - \chi)^2 \cdot V_0^{2/3} \cdot \frac{(1 + \chi)^{2/3}}{\chi^{4/3}} + 4S \right\}^{1/2}. \quad (9)$$

При $\chi = 1$ з (8) маємо:

$$\tilde{R}_1 = -\frac{1}{4} \cdot V_0^{1/3} \cdot \sqrt[3]{16} + \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot S^{1/2} = -\frac{\sqrt[3]{16}}{4} \cdot V_0^{1/3} + \frac{1}{2} \cdot S^{1/2}. \quad (10)$$

Для параметру R_1 відповідно маємо:

а) $\chi \neq 1$:

$$\tilde{R}_1 = \frac{[\sigma_0]}{\rho_B \cdot g} - Z = \frac{[\sigma_0]}{\rho_B \cdot g} - Z^* = \frac{[\sigma_0]}{\rho_B \cdot g} - \frac{V_0^{1/3}}{\chi} \cdot \left\{ \frac{\chi}{1 + \frac{1}{\chi}} \right\}^{1/3} \quad (11)$$

б) $\chi=1$

$$\tilde{R}_1 = \frac{[\sigma_0]}{\rho_B \cdot g} - \sqrt[3]{\frac{V_0}{2}} \quad (12)$$

де, g – прискорення вільного падіння $g=9,81\text{м/с}^2$.

В роботі [20] проведено техніко-економічне порівняння теплоакумлюючих матеріалів, тому для розрахунків вибрано бетон та гліцерин. Акумулявану енергію можна подати у вигляді:

$$W_a = W_B + W_G, \quad (13)$$

де, W_B – закумуляована теплова енергія в твердому теплоакумлюючому матеріалі – бетоні; W_G – закумуляована теплова енергія в рідкому теплоакумлюючому матеріалі – гліцерині.

З експериментальних даних вираховано співвідношення об'єму гліцерину та бетону для ефективної роботи акумулятора теплоти з рідким та твердим теплоакумлюючим матеріалом в пропорції 1:6. Оскільки за методикою в [21] можна розрахувати необхідну для акумуляування кількість енергії, то можливо розрахувати об'єм теплоакумлюючого матеріалу (бетону та гліцерину):

$$G_{Г/Б} = \frac{W_{Г/Б}}{c_{Г/Б} \cdot (t_{зар} - t_{роз})}, \text{ кг} \quad (14)$$

$$V_{Г/Б} = \frac{G_{Г/Б}}{\rho_{Г/Б}}, \text{ м}^3 \quad (15)$$

де, $G_{Г/Б}$ - кількість ТАМ (бетон або гліцерин), кг; $t_{зар}$ - температура зарядки акумулятору, $^{\circ}\text{C}$; $t_{роз}$ - температура розрядки акумулятору, $^{\circ}\text{C}$; c - питома теплоємність ТАМ, Дж/(кг \cdot $^{\circ}\text{C}$); $\rho_{Г/Б}$ - питома густина ТАМ, кг/м 3 .

Приймаючи, що довжина каналів з гліцерином дорівнює $Z-R_2$. Тоді, об'єм гліцерину в акумуляторі теплоти розраховується:

$$V_G = 2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot (Z - R_1) \cdot k + (X + 2 \cdot R) \cdot (Y + 2 \cdot R) \cdot D, \quad (16)$$

Після розрахунків необхідного діаметру теплообміннику розрядки теплового акумулятору, визначаємо D :

$$D = 2d, \quad (17)$$

де, d – діаметр теплообмінника зарядки.

Як видно з рівняння (16) існує залежність між R_0 та k , а також R_0 має відповідати існуючим діаметрам закладних на будівництві і в роботі [18] в наведено, що для природньої конвекції в каналі необхідно, аби мінімальний діаметр каналу дорівнював 100мм. Тому для визначення оптимального співвідношення R_0 та k вводимо залежності:

$$k = m^2, L = \frac{X^*}{m-1}, \quad (18)$$

Які визначають число каналів у бетонному масиві m на лінійному розмірі X^* , загальне число каналів k та відстань між каналами L . Варіюючи значеннями $R_0=100\dots200$ мм встановлюємо прийнятні значення величин k , m та L .

Висновки: 1. Розроблено методику розрахунку всіх конструктивних елементів теплового акумулятора з рідким та твердим теплоакумуючим матеріалом.

2. У результаті розв'язку оптимізаційної задачі отримані вирази для геометричних розмірів акумулятору теплоти з рідким та твердим теплоакумуючим матеріалом, як функції від: площі фундаменту будівлі/споруди під якою знаходиться акумулятор теплоти; густини бетону, граничного значення змінання ґрунтового масиву у місці будівництва акумулятору теплоти.

Бібліографічний список:

1. Величко Сергій Анатолійович. Природно-ресурсне забезпечення гібридних геліо-вітроенергетичних систем (в межах рівнинної території України) : дис. канд. геогр. наук: 11.00.11 / Харківський національний ун-т ім. В.Н.Каразіна. — Х., 2006. — 296с.
2. Украина: эффективность малой энергетики. ЕС Energy Centre in Kiev.1997. -280с.
3. Eskilson, P. Thermal analysis heat extraction boreholes: Ph. D. Thesis I P. Eskilson. - Lund, 1987.-264 p.
4. S. Stark, D. Bestenlehner, und H. Drück, „Energetische und wirtschaftliche Bewertung einer kombinierten Strom-Wärme-Strom-Speicherung für erneuerbare Energien“, gehalten auf der Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2020.
5. S. Stark, D. Bestenlehner, und H. Drück, „Entwicklung von innovativen, weitgehend klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für die Insel Mainau“, gehalten auf der Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2020.
6. S. Bachmann, S. Fischer, und H. Drück, „Reduktion des solaren Wärmepreises durch Leistungssteigerung der Solaranlage“, Conference proceedings, Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2019.
7. S. Fischer, S. Bachmann, B. Schiebler, F. Giovannetti, und M. Köhl, „40% Reduktion des solaren Wärmepreises durch die Kombination unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen“, Conference proceedings, 29. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2019.

8. S. Fischer, S. Bachmann, B. Schiebler, F. Giovannetti, und M. Köhl, „40% Reduktion des solaren Wärmepreises durch die Kombination unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen“, Conference proceedings, 29. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2019.
9. Numerical Modeling of Solar Heat Storage Using Large Arrays of Borehole Heat Exchangers / H.-J. G. Diersch [et al.] // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010 [Electronic resource]. - 2010. - Mode of access: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/3701.pdf>. Date of access: 14.05.2021.
10. Bonin, J. Handbuch Wärmepumpen. Planung und Projektierung / J. Bonin. - Berlin: Beuth Verlag, 2012. - 277 p.
11. W. Juschka, S. Lang, M. Gensbaur, D. Bestenlehner, und H. Drück, „Innovative Wärmedämmungen für thermische Energiespeicher - Schüttfähige Wärmedämmstoffe, Hochtemperatur-Wärmedämmkonzepte und Vakuumwärmedämmungen“, Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, 21.-23.05.2019, Bad Staffelstein, 2019.
12. S. Lang, D. Bestenlehner, R. Marx, und H. Drück, „Thermal insulation of an ultra-high temperature thermal energy store for concentrated solar power“, AIP Conference Proceedings, Bd. 2033, Nr. 1, Art. Nr. 1, 2018. Mode of access: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5067114> Date of access: 14.05.2021.
13. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии: пер. с англ. – М.: Мир, 1977 – 420с.
14. Б. Андерсон. Солнечная энергия (основы строительного проектирования)/ Пер. с англ. А.Р. Анисимова; Под ред. Ю.Н. Милевского – М.: Стройиздат, 1982. – 375с.
15. Бекман Н.Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии./ Пер. с англ. В.Я. Сидорова, Е.В. Сидорова; Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272с.
16. Левенберг В.Д., Ткач М.Р, Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. - К.: «Тэхніка», 1991. – 112 с.
17. Любарець О.П., Москвітіна А.С. Аналіз конструкцій сезонних теплоаккумуляторів для забезпечення систем гарячого водопостачання та опалення в котеджному будівництві. Вентиляція, освітлення та теплопостачання: Наук.-техн. збірник.. – К., КНУБА, 2015. – Вип. 18. – С. 61-69.
18. Любарець О.П., Москвітіна А.С. Порівняння конструкцій теплових акумуляторів з твердим теплоакмулюючим матеріалом та комбінованим теплоакмулюючим матеріалом. Вентиляція, освітлення та теплопостачання: Наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2016. – Вип. 19. – С. 101-111.
19. Москвітіна, А.С. Розрахунок оптимальної товщини теплової ізоляції сезонного акумулятора теплоти. Містобудування та територіальне планування, 2018, Вип.67. С.298-307.
20. Любарець О.П., Москвітіна А.С. Техніко-економічне обґрунтування використання теплоакмулюючих матеріалів для систем міжсезонного сонячного теплопостачання. Вентиляція, освітлення та теплопостачання: Наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2014. – Вип. 17. – С.115-119.
21. Любарець О.П., Москвітіна А.С. Вибір форми і розрахунок об'єму сезонного акумулятора теплоти. Вентиляція, освітлення та теплопостачання: Наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2016. – Вип. 20. – С. 24-38.

к.т.н., доц. **Човнюк Ю.В.**,

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,

доцент **Чередниченко П.П.**, **Москвитина А.С.**, **Шишина М.О.**,

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ С ЖИДКИМ И ТВЕРДЫМ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМ МАТЕРИАЛОМ

Исчерпанность традиционных топливных ресурсов и ухудшение экологии окружающей среды, увеличение выбросов в атмосферный воздух придает актуальности исследованиям по возобновляемой энергетике и необходимости привлечения в энергетический баланс Украины экологически чистых источников энергии. Перспективным направлением является использование теплоты солнечной энергии для коммунального теплоснабжения, которое может обеспечить большие потребности в теплоте даже в условиях территорий умеренного климата. В основном методы использования тепловой энергии солнца в целом экономически эффективные, однако доля применения тепловой солнечной энергии достаточно мала. Значительно повысить эффективность использования солнечной энергии возможно при наличии сезонного аккумулятора большой тепловой емкости. Опыт эксплуатации неорганизованных сезонных грунтовых аккумуляторов теплоты указывает на малую эффективность такого хранения теплоты вследствие значительных теплопотерь в окружающий массив грунта. Для таких систем (гелиоколлекторы + сезонный теплоаккумулятор) целесообразно использовать организованные сезонные теплоаккумуляторы, которые рассчитаны на определенное количество теплоты. Рассматривается конструкция аккумулятора теплоты с твердым и жидким теплоаккумулирующим материалом, в котором достигается более равномерное распределение температур в объеме теплового аккумулятора. Разработана методика расчета конструктивных элементов аккумулятора теплоты с жидким и твердым теплоаккумулирующим материалом с учетом теплопотерь аккумулятора теплоты и особенностей почв в месте строительства.

Ключевые слова: сезонный аккумулятор теплоты, конструкция сезонного аккумулятора теплоты, теплоемкостный аккумулятор теплоты, теплоаккумулирующий материал, форма сезонного теплового аккумулятора.

PhD, associate professor **Chovniuk Yuriy**,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Associate Professor **Cherednichenko Petro**,
Assistant **Moskvitina Anna**, Assistant **Shyshyna Maria**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

CALCULATION OF CONSTRUCTION ELEMENTS OF HEAT ACCUMULATORS WITH LIQUID AND SOLID HEAT-ACCUMULATING MATERIAL

The depletion of traditional fuel resources and the deterioration of the ecology of the environment, an increase in emissions into the air make the research on renewable energy and the need to attract clean energy sources to the energy balance of Ukraine. A promising direction is the use of solar energy for municipal heat supply, which can provide large heat needs even in temperate climates. Basically, the methods of using thermal energy from the sun are generally economically effective, but the share of using thermal solar energy is quite small. It can also be solved by accumulating these surpluses and using them during the heating season. The experience of operating unorganized seasonal heat accumulators in the soil indicates the low efficiency of such heat storage due to significant heat losses into the surrounding soil mass. For such systems (solar collectors + seasonal heat accumulator), it is advisable to use organized seasonal heat accumulators, which are designed for a certain amount of heat. An organized seasonal heat accumulator is understood as a heat storage system, which consists of a heat insulated tank for storing heat storage material and a heat carrier, which is used to transport heat to the heat storage material during its accumulation during the warm period and heat supply in the cold season from the heat storage material to energy consuming systems (heating system, hot water supply, etc.). The design of a heat accumulator with solid and liquid heat accumulating material is considered, in which a more uniform distribution of temperatures in the volume of the heat accumulator is achieved. A method for calculating structural elements for a heat accumulator with liquid and solid heat accumulating material has been developed, taking into account the heat loss of the heat accumulator and the characteristics of the soils at the construction site.

Key words: seasonal heat accumulator, the design of the seasonal heat accumulator, thermal capacity heat accumulator, heat accumulator material, the shape of the seasonal heat accumulator.

REFERENCES

1. Velichko Sergey Anatol'yevich. Prirodno-resursnoye obespecheniye gibridnykh gelio-vetroenergeticheskikh sistem (v predelakh ravninnoy territorii Ukrainy): dis. kand. geogr. nauk: 11.00.11 / Khar'kovskiy natsional'nyy un-t im. Karazina. - KH., 2006. – 296p. {in Ukrainian}
2. Ukraina: effektivnost' maloy energetiki. YES Energy Cetntre in Kiev.1997. - 280с. Myln-Tomson L. Teoretycheskaia hydrodynamyka. M.: Myr, 1964. 655 p. {in Russian}
3. Eskilson, P. Thermal analysis heat extraction boreholes: Ph. D. Thesis I P. Eskilson. -Lund, 1987.-264 p. {in English}.
4. S. Stark, D. Bestenlehner, und H. Drück, „Energetische und wirtschaftliche Bewertung einer kombinierten Strom-Wärme-Strom-Speicherung für erneuerbare Energien“, gehalten auf der Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2020. {in German}
5. S. Stark, D. Bestenlehner, und H. Drück, „Entwicklung von innovativen, weitgehend klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für die Insel Mainau“, gehalten auf der Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2020. {in German}
6. S. Bachmann, S. Fischer, und H. Drück, „Reduktion des solaren Wärmepreises durch Leistungssteigerung der Solaranlage“, Conference proceedings, Syposium Solarthermie und innovative Wärmesyteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2019. {in German}
7. S. Fischer, S. Bachmann, B. Schiebler, F. Giovannetti, und M. Köhl, „40% Reduktion des solaren Wärmepreises durch die Kombination unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen“, Conference proceedings, 29. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2019. {in German}
8. S. Fischer, S. Bachmann, B. Schiebler, F. Giovannetti, und M. Köhl, „40% Reduktion des solaren Wärmepreises durch die Kombination unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen“, Conference proceedings, 29. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2019. {in German}
9. Numerical Modeling of Solar Heat Storage Using Large Arrays of Borehole Heat Exchangers / H.-J. G. Diersch [et al.] // Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010 [Electronic resource]. - 2010. - Mode of access: <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGASTandard/WGC/2010/3701.pdf>. Date of access: 14.05.2021.
10. Bonin, J. Handbuch Wärmepumpen. Planung und Projektierung / J. Bonin. - Berlin: Beuth Verlag, 2012. - 277 p. {in German}
11. W. Juschka, S. Lang, M. Gensbaur, D. Bestenlehner, und H. Drück, „Innovative Wärmedämmungen für thermische Energiespeicher - Schüttfähige

Wärmedämmstoffe, Hochtemperatur-Wärmedämmkonzepte und Vakuumwärmedämmungen“, Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, 21.-23.05.2019, Bad Staffelstein, 2019. {in German}

12. S. Lang, D. Bestenlehner, R. Marx, und H. Drück, „Thermal insulation of an ultra-high temperature thermal energy store for concentrated solar power“, AIP Conference Proceedings, Bd. 2033, Nr. 1, Art. Nr. 1, 2018. Mode of access: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5067114> Date of access: 14.05.2021. {in German}

13. Daffi Dzh.A., Bekman U.A. Teplovyye protsessy s ispol'zovaniyem solnechnoy energii: per. s angl.. – M.: Mir, 1977 – 420p. {in Russian}

14. B. Anderson. Solnechnaya energiya (osnovy stroitel'nogo proyektirovaniya)/ Per. s angl. A.R. Anisimova; Pod red. YU.N. Milevskogo – M.: Sroyizdat, 1982. – 375p. {in Russian}

15. Bekman N.G., Gilli P. Teplovoye akumulirovaniye energii./ Per. s angl. V.YA. Sidorova, Ye.V. Sidorova; Pod red. V.M. Brodyanskogo. – M.: Mir, 1987. – 272p. {in Russian}

16. Levenberg V.D., Tkach M.R., Gol'strem V.A. Akkumulirovaniye tepla. - K.: «Tekhnika», 1991. – 112 p. {in Russian}

17. Lyubarets O.P., Moskvitina A.S. Analiz konstruktsiy sezonnykh teploakumulyatoriv dlya zabezpechennya system haryachoho vodopostachannya ta opalennya v kotedznomu budivnytstvi. Ventylyatsiya, osviltennya ta teplohapostachannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk.. – K., KNUBA, 2015. – Vol.. 18. – P. 61-69. {in Ukrainian}

18. Lyubarets O.P., Moskvitina A.S. Porivnyannya konstruktsiy teplovykh akumuliyatoriv z tverdym teploakumulyuyuchym materialom ta kombinovanyim teploakumulyuyuchym materialom. Ventylyatsiya, osviltennya ta teplohapostachannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk. – K., KNUBA, 2016. – Vol.. 19. – P. 101-111. {in Ukrainian}

19. Moskvitina, A.S. Rozrakhunok optymal'noyi tovshchyny teplovoyi izolyatsiyi sezonnoho akumuliyatora teploty. Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya, 2018, Vol. 67. P.298-307. {in Ukrainian}

20. Lyubarets O.P., Moskvitina A.S. Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannya vykorystannya teploakumulyuyuchykh materialiv dlya system mizhsezonnoho sonyachnoho teplopostachannya. Ventylyatsiya, osviltennya ta teplohapostachannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk. – K., KNUBA, 2014. – Vol. 17. – P.115-119. {in Ukrainian}

21. Lyubarets O.P., Moskvitina A.S. Vybir formy i rozrakhunok obyemu sezonnoho akumuliyatora teploty. Ventylyatsiya, osviltennya ta teplohapostachannya: Nauk.-tekhn. zbirnyk. – K., KNUBA, 2016. – Vol. 20. – P. 24-38. {in Ukrainian}