

DOI: 10.32347/2076-815X.2022.80.451-464

УДК 662.995+536.242

к.т.н., доцент, професор МКА **Човнюк Ю.В.**,  
uchovnyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0608-0203,

Національний авіаційний університет, м. Київ,

доцент **Чередніченко П.П.**,

petro\_che@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7161-661X,

к.т.н. **Москвітін А.С.**,

moskvitina.as@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-3352-0646,

**Пєфтєва І.О.**, piefteva.io@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8858-9010,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ РОЗМІРІВ ГРУНТОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ, ОБМЕЖЕНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИМИ ШАРАМИ**

*Акумулятори великої теплової ємності організовуються у природному ґрунтовому масиві впорядкованого сукупністю (“кущем”) вертикальних/горизонтальних теплообмінників, розміщених або у бурових свердловинах, або всередині циліндричних порожнин бетонного масиву у трубах. У результаті акумулювання створюється основна область накопиченої теплоти, яка обмежена зовнішнім контуром “куща”, певного об’єму й з певною температурою, а також буферна підобласть деякого об’єму, яка дотикається до основної і є результатом теплової взаємодії об’єму основної області з оточуючим ґрунтовим масивом, який має постійну температуру. Найменші розміри буферної підобласті будуть у випадку рівномірного по основному об’єму розподілу температури. Розміри буферної підобласті можна зменшувати, якщо створити верхній теплоізоляційний щит. При цьому габарити конструкції повинні бути оптимальними, тобто відповідати певному критерію, за якого відношення об’єму буферної підобласті до об’єму всього акумулятора теплоти є мінімальним. У роботі надані розв’язки задач, які визначають оптимальні співвідношення розмірів ґрунтових акумуляторів, розміщених у бетонних кожухах й обмежених зверху теплоізоляційним щитом, та методика знаходження кількості теплообмінників, їх параметрів і відстаней між ними, що забезпечує мінімальні витрати на побудову самого акумулятора.*

*Ключові слова: ґрунтові акумулятори теплоти; теплоізоляційний щит; оптимізація конструкції акумулятора теплоти; сезонна акумуляція теплоти.*

**Постановка проблеми.** Акумулятори великої теплової ємності організовуються у природному ґрунтовому масиві впорядкованого сукупністю

(“кущем”) вертикальних/горизонтальних теплообмінників, розміщених або у бурових свердловинах, або всередині циліндричних порожнин бетонного масиву у трубах [1-9]. У результаті акумулювання створюється основна область накопиченої теплоти, яка обмежена зовнішнім контуром “куща”, об’ємом  $V_0 = X \cdot Y \cdot Z$  й температурою  $T_0(t, x, y, z)$  й буферна підобласть об’ємом  $V_\delta$ , яка дотикається до основної і є результатом теплової взаємодії  $V_0$  з оточуючим ґрунтовим масивом, який має температуру  $T_m \equiv const$  (див. рис. 1). На рис.1  $H \rightarrow O$ .

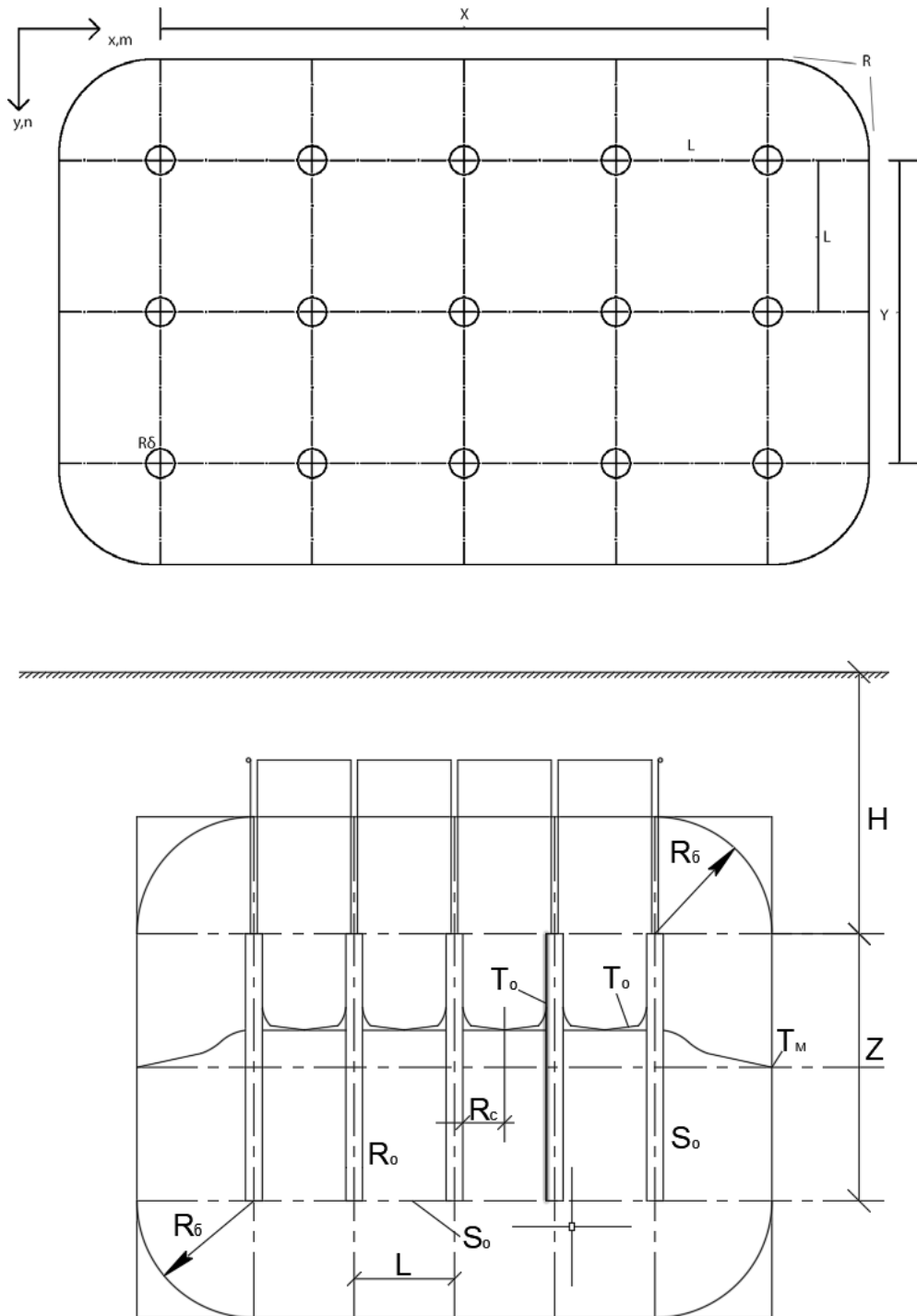


Рис.1. План та розріз ґрунтового акумулятора.



$$\tilde{V}_i = \frac{E_i}{\rho_m \cdot c_m (T_o - T_m)}, (i = a, o, \delta). \quad (3)$$

У (2) враховано, що для основної області  $\tilde{V}_o = V_o$ .

Розміри буферної підобласті можна зменшувати, якщо створити верхній теплоізоляційний щит (див. рис. 2). Це призведе до зменшення габаритів усієї конструкції й відпаде необхідність теплоізоляції трубопроводів, які підводять й відводять теплоносій. При цьому габарити конструкції повинні бути оптимальними, тобто відповідати певному критерію, за якого відношення  $\tilde{V}_\delta/\tilde{V}_a$  є мінімальним.

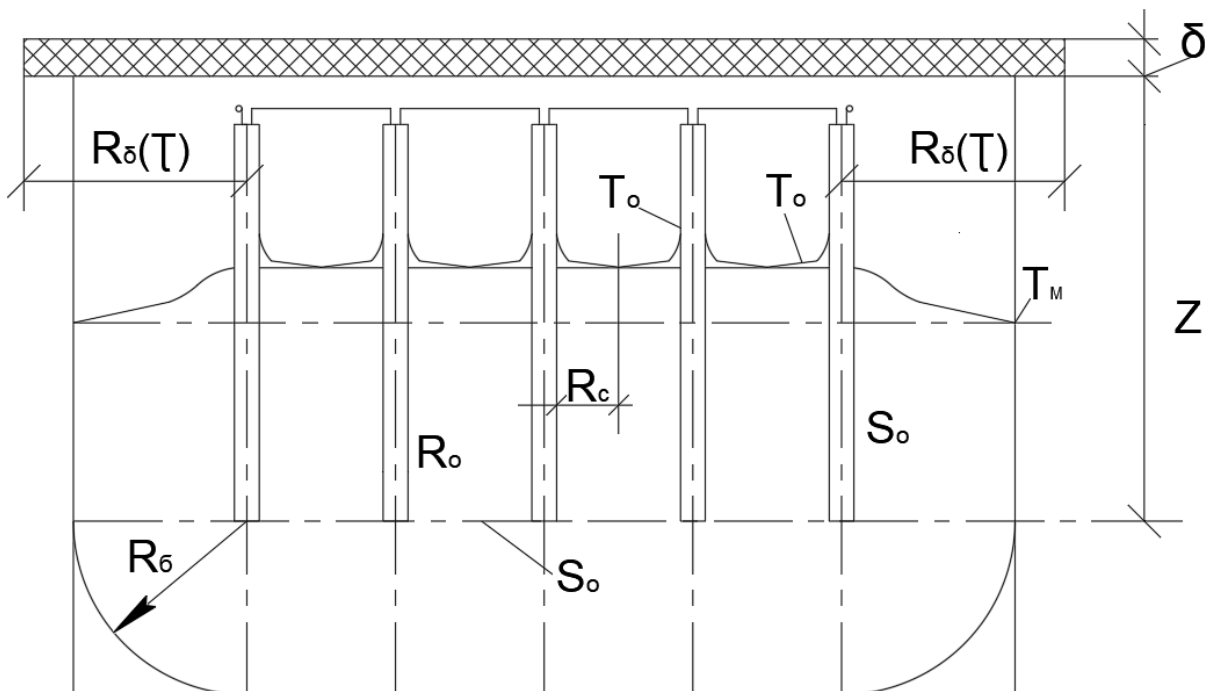


Рис. 2. Розріз ґрунтового акумулятора з теплоізоляційним щитом.

**Аналіз публікацій по темі досліджень.** Основні проблеми ґрунтового акумулювання теплоти, методи їх вирішення, динаміка цього процесу, вибір раціональних рішень наведені у роботах [1-11]. Проте оптимізація процесу ґрунтового акумулювання теплоти за наявності верхнього теплоізоляційного щита за умови, що сам акумулятор розташований у бетонному корпусі не розглянута у літературі.

**Мета роботи.** Полягає у знаходженні оптимальної за габаритами конструкції ґрунтового акумулятора теплоти, розміщеного у бетонному корпусі, за наявності верхнього теплоізоляційного щита. Мета роботи досягається на основі використання методики роботи [12], яка уточнена й суттєво вдосконалена.

**Виклад основного захисту дослідження.** Вважаючи, що розміри теплоізоляційного щита суттєво перевищують розміри  $X$  та  $Y$  основної області



$$+ \frac{0,0762}{V_o} \pi R_\delta^3$$

Дослідження на екстремум функції  $\varphi_{\text{щ}}$  призводить до рівняння четвертого степеня:

$$\frac{0,8 \cdot x}{V_o} \cdot X^4 + \frac{0,1 \cdot \pi \cdot R_\delta \cdot (1 + x)}{V_o} \cdot X^3 - 0,8 \left(1 + \frac{1}{x}\right) \cdot X - \frac{0,1 \cdot \pi}{x} \cdot R_\delta = 0 \quad (9)$$

Легко показати, що другі похідні по  $X$  виразу (8) завжди додатні, і, відповідно, розв'язки рівняння (9) відповідають  $\min \varphi_{\text{щ}}(X)$ . При  $x = 1$  (квадратна форма майданчика “куща”) рівняння (9) зводиться до виду:

$$\left(\frac{1}{2V_o} - \frac{1}{X^3}\right) \cdot (1,6X + 0,4 \cdot \pi \cdot R_\delta) = 0 \quad (10)$$

з дійсними коренями, які не залежать від  $R_\delta$ :

$$X_{\text{щ}} = Y_{\text{щ}} \cong 1,26 \cdot V_o^{1/3}, Z_{\text{щ}} = 0,5 \cdot X_{\text{щ}} \cong 0,63 \cdot V_o^{1/3} \quad (11)$$

Точні значення цих параметрів наступні:

$$\begin{aligned} X_{\text{щ}} = Y_{\text{щ}} &= \sqrt[3]{2} \cdot V_o^{1/3}, \\ Z_{\text{щ}} &= \frac{V_o}{x \cdot X_{\text{щ}}^2} = \frac{V_o}{X_{\text{щ}}^2} = \frac{V_o}{\sqrt[3]{4} \cdot V_o^{2/3}} = \frac{V_o^{1/3}}{\sqrt[3]{4}} = \frac{V_o^{1/3} \cdot \sqrt[3]{2}}{\sqrt[3]{4} \cdot \sqrt[3]{2}} = \frac{\sqrt[3]{2} \cdot V_o^{1/3}}{2} = \frac{1}{2} \cdot X_{\text{щ}} \Rightarrow \\ &\Rightarrow Z_{\text{щ}} = \frac{1}{2} \sqrt[3]{2} \cdot V_o^{1/3} \end{aligned}$$

Таким чином, оптимальна форма квадратного у плані “куща” відповідає (у випадку наявності щита) прямокутному паралелепіпеду з висотою, що дорівнює половині сторони квадрата. Останній результат приваблює тим, що глибина залягання ґрунтового акумулятора обмежена санітарними міркуваннями по відношенню до водонасичених горизонтів, котрі експлуатуються. Наприклад, у м. Києві для створення ґрунтового акумулятора на глибині більше за 50м необхідний спеціальний дозвіл. Тому акумулятор з теплоізоляційним щитом у таких випадках є просто незамінним. Питання про оптимальну форму “куща” можна наближено розв'язати з позиції мінімізації поверхні  $S_o$ , що обмежує основну область акумулявання  $V_o$ , оскільки саме через цю поверхню  $S_o$  “дрейфує” область у оточуючий ґрунтовий масив. Використовуючи співвідношення (6) та (7), маємо:

$$\Phi_{\text{щ}}(X) = \frac{S_o}{V_o} = \frac{x \cdot X^2}{V_o} + 2 \left(1 + \frac{1}{x}\right) \cdot \frac{1}{X} \quad (12)$$

Дослідження на екстремум функції  $\Phi_{\text{щ}}$  дає:

$$X_{\text{щ}} = V_o^{1/3} \cdot \left(\frac{1 + \frac{1}{x}}{x}\right)^{\frac{1}{3}}, Y_{\text{щ}} = x \cdot V_o^{1/3} \cdot \left(\frac{1 + \frac{1}{x}}{x}\right)^{\frac{1}{3}}, Z_{\text{щ}} = \frac{V_o^{1/3}}{x} \left(\frac{x}{1 + \frac{1}{x}}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad (13)$$

Легко показати, що (13) відповідає  $\min \Phi_{\text{щ}}$ . При  $x = 1$  результат співпадає з тими, що були підраховані за співвідношенням (9) та (11). Функціями (13) можна користуватись при проведенні розрахунків та оцінок.

У результаті розв'язку, наведених у [13, 14] методом організаційної задачі отриманні вирази де  $X, Y, Z$  як функції від  $V_o$ . Підстановка їх у залежність (4) за відомих  $x, \tau, a_m$  дає рівняння  $\tilde{V}_a = f(V_o)$ , котре однозначно визначає  $V_o$ , коли заданий параметр  $\tilde{V}_a$ . Якщо немає обмежень по відношенню до форми майданчика "куща" може, рекомендувати  $x = 1$ .

Розв'яжемо рівняння (9) у загальному випадку, використовуючи методи Феррарі та Кардано [13,17,18], що дозволяє врахувати при визначенні  $X, Y, Z$  параметр  $R_\delta$ .

У рівнянні (9) введемо позначення:

$$a = \frac{0,8 \cdot x}{V_o}; b = \frac{0,1 \cdot \pi \cdot R_\delta \cdot (1 + x)}{V_o}; d = -0,8 \cdot \left(1 + \frac{1}{x}\right); e = -\frac{0,4 \cdot \pi \cdot R_\delta}{x} \quad (14)$$

Введемо заміну:

$$\tilde{y} = X + \frac{b}{4a} \quad (15)$$

тоді рівняння (9) у позначеннях його коефіцієнтів (14):

$$a \cdot X^4 + b \cdot X^3 + d \cdot X + e = 0 \quad (16)$$

переходить у:

$$\tilde{y}^4 + p\tilde{y}^2 + q\tilde{y} + r = 0 \quad (17)$$

де  $p, q, r$  - раціональні функції коефіцієнтів  $f, b, d, e$ :

$$p = \left\{ -\frac{3b^2}{4a^2} \right\}; q = \left\{ \frac{b^3}{8a^3} + \frac{d}{a} \right\}; r = \left\{ -\frac{3b^4}{256a^4} - \frac{d \cdot b}{4a^2} + \frac{e}{a} \right\}. \quad (18)$$

Кубічна резольвента рівняння (17) має вид:

$$\tilde{Z}^3 + 2p \cdot \tilde{Z}^2 + (p^2 - 4r)\tilde{Z} - q^2 = 0 \quad (19)$$

Запишемо приведене кубічне рівняння для (19), вводячи попередньо наступні заміни коефіцієнтів:

$$2p = \bar{r}; (p^2 - 4r) = \bar{s}; (-q^2) = \bar{t}, \bar{y} = \tilde{Z} + \bar{r}/3, \quad (20)$$

тоді матимемо:

$$(\bar{y})^3 = \bar{p} \cdot \bar{y} + \bar{q} = 0, \quad (21)$$

де:

$$\bar{p} = \frac{3\bar{s} - (\bar{r})^2}{3}, \bar{q} = \frac{2(\bar{r})^3}{27} - \frac{\bar{r} \cdot \bar{s}}{3} + \bar{t} \quad (22)$$

Розглянемо 2 випадки.

$$1. D = (\bar{p}/3)^3 + (\bar{q}/2)^2 > 0 \quad (23)$$

Тоді рівняння (16) має два дійсних кореня й два комплексно спряжених.

Згідно з формулою Кардано [13], рівняння (21) має такі корені:

$$\begin{cases} \bar{y}_1 = u + v; \bar{y}_2 = -\frac{(u+v)}{2} + \frac{(u-v)}{2} \cdot i \cdot \sqrt{3}; \\ \bar{y}_3 = -\frac{(u+v)}{2} - \frac{(u-v)}{2} \cdot i \cdot \sqrt{3}, \end{cases} \quad (24)$$

де:

$$u = \sqrt[3]{\frac{(-\bar{q})}{2} + \sqrt{D}}; \quad v = \sqrt[3]{\frac{(-\bar{q})}{2} + \sqrt{D}}; \quad i^2 = -1. \quad (25)$$

За допомогою заміни:  $\tilde{Z}_k = \bar{y}_k - \frac{\bar{r}}{3}$ ,  $k = (1,3)$  отримаємо 3 розв'язки (19).

Нехай виконується умова:



$$\begin{cases} \sqrt{\tilde{Z}_1} + \sqrt{\tilde{Z}_2} + \sqrt{\tilde{Z}_3} > 0; \\ \sqrt{\tilde{Z}_1} - \sqrt{\tilde{Z}_2} - \sqrt{\tilde{Z}_3} < 0 \end{cases} \quad (26)$$

Тоді розв'язок (17) має вид:

$$\tilde{y}_1 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\tilde{Z}_1} + \sqrt{\tilde{Z}_2} + \sqrt{\tilde{Z}_3} \right). \quad (27)$$

При цьому знаки перед радикалами  $\sqrt{\tilde{Z}_1}, \sqrt{\tilde{Z}_2}, \sqrt{\tilde{Z}_3}$  обирається так, щоб виконувати рівність:

$$\sqrt{\tilde{Z}_1} \cdot \sqrt{\tilde{Z}_2} \cdot \sqrt{\tilde{Z}_3} = -q. \quad (28)$$

Корінь (дійсний) і додатні рівняння (16) має вид:

$$X = \tilde{y}_1 - \frac{b}{(4a)}. \quad (29)$$

$$2. D = (\bar{p}/3)^3 + (\bar{q}/2)^2 < 0 \quad (30)$$

Тоді рівняння (16) має чотири дійсних кореня.

Введемо наступні заміни:

$$\bar{\rho} = \sqrt{(-\bar{p})^3/27}, \quad \cos\varphi = -\bar{q}/(2\bar{\rho}). \quad (31)$$

Тоді корені рівняння (21) наступні:

$$\begin{cases} \bar{y}_1 = 2 \cdot \sqrt[3]{\bar{\rho}} \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{3}\right); \bar{y}_2 = 2 \cdot \sqrt[3]{\bar{\rho}} \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{3} + \frac{2\pi}{3}\right); \\ \bar{y}_3 = \bar{y}_2 = 2 \cdot \sqrt[3]{\bar{\rho}} \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{3} + \frac{4\pi}{3}\right). \end{cases} \quad (32)$$

За допомогою заміни  $\tilde{Z}_k = \bar{y}_k - \frac{\bar{r}}{3}, = \overline{(1,3)}$ , отримуємо з (32) 3 розв'язки (19).

Нехай виконуються низка умов:

$$\begin{cases} \sqrt{\tilde{Z}_1} + \sqrt{\tilde{Z}_2} + \sqrt{\tilde{Z}_3} > 0; \sqrt{\tilde{Z}_1} - \sqrt{\tilde{Z}_2} - \sqrt{\tilde{Z}_3} < 0 \\ -\sqrt{\tilde{Z}_1} + \sqrt{\tilde{Z}_2} - \sqrt{\tilde{Z}_3} < 0; -\sqrt{\tilde{Z}_1} - \sqrt{\tilde{Z}_2} + \sqrt{\tilde{Z}_3} < 0 \end{cases} \quad (33)$$

Тоді розв'язок (17) має вид (27). (Знаки перед радикалами  $\sqrt{\tilde{Z}_1}, \sqrt{\tilde{Z}_2}, \sqrt{\tilde{Z}_3}$  обирається знову так, щоб виконувалась рівність (28)).

Єдиний (дійсний) і додатній корінь рівняння (16) має вид (29).

Акумулявану енергію можна подати у формі: (34)

$$E_a = N \cdot \tau_a,$$

де потужність [16,17] акумулявання  $N$  пов'язана з щільністю теплового потоку  $q_o$  на зовнішній поверхні теплообмінника радіусом  $R_o$  числом "ефективно" працюючих теплообмінників  $k_a$ , котре визначається по величині теплообмінної поверхні з тепловим потоком, спрямованим всередину основної області акумулявання, за допомогою рівняння:

$$N = q_o \cdot 2\pi R_o \cdot k_a \cdot Z, \quad (35)$$

Щоб не існувало великих градієнтів температур між проміжним теплоносієм з основною областю акумулявання слід обмежувати  $q_o \sim 100$  Вт/м<sup>2</sup>. За заданого значення  $q_o$  з (35) впливає співвідношення:

$$k_a \cdot R_o = \frac{N}{2\pi Z q_o}, \quad (36)$$

що зв'язує  $k_a$  з величиною  $R_o$ , коли значення правої частини (36) відоме. У свою чергу при  $x = 1$  маємо залежності:

$$m = \sqrt{k_a} + 1, \quad k = m^2, \quad L = \frac{X}{m - 1} \quad (37)$$

що визначають число порожнин  $m$  у бетонному масиві теплообмінника на лінійному розмірі  $X$ , загальне число циліндричних порожнин у акумуляторі  $k$  й крок цих порожнин  $L$ . Варіюючи значення  $k_a$  та  $R_o$  встановлюються прийняті величини, подані у (37). Таким чином, співвідношення (34)-(37) визначають усі параметри ґрунтового акумулятора заданої продуктивності. Вартість створення акумулятора залежить, головним чином, від вартості будівельних робіт по влаштуванню бетонного масиву (риття котловану, бетонні роботи)  $C_{\delta p}$  й вартості власне теплообмінників (труби й тепловий носій, та їх заповнювач)  $C_{TO}$ .

**Висновки.** Встановлені співвідношення та зв'язок між числом ґрунтових теплообмінників та їх розмірами, котрі забезпечують мінімальні витрати на створення акумулятора з теплоізоляційним щитом, який розміщується у бетонному масиві, що утримує циліндричні порожнини з поліетиленовими трубами, по котрим циркулює теплоносій (етиленгліколь, поліпропіленгліколь, гліцерингліколь і т.п.).

#### **Бібліографічний список:**

1. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Беляева Т.Г. Проблемы ґрунтового аккумуляирования теплоты и методы их решения. Промышленная теплотехника. Т.25, №3. С. 42-50.
2. Накорчевский А.И. Динамика ґрунтового аккумуляирования теплоты и выбор рациональных решений. Инженерно-физический журнал. 2004. Т.77, №4. С. 10-19.
3. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Беляева Т.Г. Технологические показатели различных схем ґрунтового аккумуляирования теплоты. Теплоэнергетика. 2006. №3. С. 29-35.
4. Накорчевский А.И., Басок Б.И., Беляева Т.Г. Некоторые аспекты использования теплоты солнечной радиации для коммунального теплоснабжения. Известия РАН. Энергетика. 2007. №1. С. 86-95.
5. Беляева Т.Г. Оценка экономической целесообразности использования тепловых насосов в коммунальной теплоэнергетике Украины / Т.Г. Беляева, А.А. Рутенко, М.В. Ткаченко, О.Б. Басок // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т.31, – № 5. – С. 81 – 87.
6. Басок Б.И. Анализ экономической эффективности при реализации теплонасосных систем для теплоснабжения / Б.И. Басок, Т.Г. Беляева, А.А. Рутенко, А.А. Лунина // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т.30, – № 4. – С. 56 – 63.
7. Долинский А.А. Тепловые насосы в системе теплоснабжения зданий / А.А. Долинский, Б.Х. Драганов // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т.30, – № 6. – С. 71 – 83.
8. Долинский А.А. Тепловые насосы в теплоснабжении / А.А. Долинский, Е.Т. Базеев, А.И. Чайка // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т.28, – № 2. – С. 99 – 105.
9. Накорчевский А.И. Ґрунтовые аккумуляторы теплоты и модернизация коммунальной теплоэнергетики. – Киев, Наукова думка. – 2010. – 256 с.

10. Накорчевский А.И., Басок Б.И. Оптимальная конструкция грунтовых теплообменников. Промышленная теплотехника. 2005. Т.27, №6. С. 27-31.
11. Грунтовий теплообмінник. Патент на винахід №78611. Україна.
12. Накорчевский А.И. Техничко-экономический анализ грунтовых аккумуляторов теплоты. Промышленная теплотехника. 2007. Т.29, №6. С.61-66.
13. Бронштейн И.Н., Семендеев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.:Наука, 1986. 544 с.
14. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. М.: Наука, 198. 288 с.
15. Долинский А.А., Накорчевский А.И. Основные положения проекта «Когенерация - аккумулялирование – тепловые насосы». Промышленная теплотехника.2006. Т.28, №4. С. 72-79.
16. Накорчевский А.И. Техничко-экономический анализ грунтовых аккумуляторов теплоты. Промышленная теплотехника. 2007. Т.29, №6. С.61-66.
17. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. М.: Мир, 1972. 418 с.
18. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука. 1977. 456 с.

PhD, professor of IPA(International Personnel Academy) associate professor **Chovniuk Yuriy**,  
National Aviation University, Kyiv,  
associate Professor **Cherednichenko Petro**,  
PhD, assistant **Moskvitina Anna**, assistant **Peftieva Iryna**,  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **DETERMINATION OF THE OPTIMAL RATIOS OF THE SIZES OF GROUND HEAT ACCUMULATORS, LIMITED BY HEAT-INSULATING LAYERS**

Accumulators of high thermal capacity are organized in a natural soil mass ordered by a set ("bush") of vertical/horizontal heat exchangers, which are placed either in boreholes or inside cylindrical cavities of a concrete mass in pipes. As a result of accumulation, a main region of accumulated heat is created, which is limited by the outer contour of the "bush", of a certain volume and with a certain temperature, as well as a buffer sub-region of a certain volume, which touches the main one and is the result of thermal interaction of the volume of the main region with the surrounding soil mass, which has constant temperature. The smallest dimensions of the buffer subregion will

be in the case of a uniform temperature distribution over the main volume. This is achieved by organizing the same heat load that falls on each heat exchanger, the same potential of the intermediate heat carrier and a small difference in its temperatures, respectively, at the inlet and outlet of each heat exchanger, and a number of other requirements. The dimensions of the buffer subregion can be reduced by creating an upper heat shield. This will lead to a reduction in the dimensions of the entire structure and there will be no need for thermal insulation of pipelines that supply and discharge the coolant in the middle of the heat accumulator. In this case, the dimensions of the structure must be optimal, i.e. meet a certain criterion, in which the ratio of the volume of the buffer subregion to the volume of the entire heat accumulator is minimal. However, the optimization of the heat storage process in the presence of an upper heat-insulating shield, provided that the heat accumulator itself is located in a concrete building, has not been considered in the literature. Solutions to problems are presented that determine the optimal ratios of the sizes of ground heat accumulators placed in concrete casings and limited from above by a heat-insulating shield, and a method for finding the number of heat exchangers, their parameters and distances between them, which ensures minimal costs for the construction of the heat accumulator itself.

Key words: ground heat accumulators; heat-insulating shield; optimization of the design of the heat accumulator; seasonal accumulation of heat..

#### REFERENCES:

1. Nakorchevskiy A.I., Basok B.I., Belyayeva T.G. Problemy gruntovogo akumulirovaniya teploty i metody ikh resheniya. *Promyshlennaya teplotekhnika*. T.25, №3. P. 42-50. {in Russian}
2. Nakorchevskiy A.I. Dinamika gruntovogo akumulirovaniya teploty i vybor ratsional'nykh resheniy. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*. 2004. T.77, №4. P. 10-19. {in Russian}
3. Nakorchevskiy A.I., Basok B.I., Belyayeva T.G. Tekhnologicheskiye pokazateli razlichnykh skhem gruntovogo akumulirovaniya teploty. *Teploenergetika*. 2006. №3. P. 29-35. {in Russian}
4. Nakorchevskiy A.I., Basok B.I., Belyayeva T.G. Nekotoryye aspekty ispol'zovaniya teploty solnechnoy radiatsii dlya kommunal'nogo teplosnabzheniya. *Izvestiya RAN. Energetika*. 2007. №1. P. 86-95. {in Russian}
5. Belyayeva T.G. Otsenka ekonomicheskoy tselesoobraznosti ispol'zovaniya teplovykh nasosov v kommunal'noy teploenergetike Ukrainy / T.G. Belyayeva, A.A. Rutenko, M.V. Tkachenko, O.B. Basok // *Promyshlennaya teplotekhnika*. – 2009. – T.31, – № 5. – P. 81–87. {in Russian}
6. Basok B.I. Analiz ekonomicheskoy effektivnosti pri realizatsii teplonasosnykh sistem dlya teplosnabzheniya / B.I. Basok, T.G. Belyayeva, A.A.

Rutenko, A.A. Lunina // Promyshlennaya teplotekhnika. – 2008. – T.30, – № 4. – P. 56-63. {in Russian}

7. Dolinskiy A.A. Teplovyye nasosy v sisteme teplosnabzheniya zdaniy / A.A. Dolinskiy, B.Kh. Draganov // Promyshlennaya teplotekhnika. – 2008. – T.30, – № 6. – P. 71–83. {in Russian}

8. Dolinskiy A.A. Teplovyye nasosy v teplosnabzhenii / A.A. Dolinskiy, Ye.T. Bazeyev, A.I. Chayka // Promyshlennaya teplotekhnika. – 2006. – T.28, – № 2. – P. 99–105. {in Russian}

9. Nakorcheskiy A.I. Gruntovyye akkumulyatory toploti i modernizatsiya komunal'noy teployenergetiki. – Kiyev, Naukova dumka. – 2010. – 256 p. {in Russian}

10. Nakorchevskiy A.I., Basok B.I. Optimal'naya konstruktsiya gruntovykh teploobmennikov. Promyshlennaya teplotekhnika. 2005. T.27, №6. P. 27-31. {in Russian}

11. Gruntovyy teploobminnyk. Patent na vynakhid №78611. Ukrayina. {in Ukrainian}

12. Nakorchevskiy A.I. Tekhniko-ekonomicheskyy analiz gruntovykh akkumulyatorov toploty. Promyshlennaya teplotekhnika. 2007. T.29, №6. P. 61-66. {in Russian}

13. Bronshteyn I.N., Semendeyev K.A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov. M.:Nauka, 1986. 544 p. {in Russian}

14. Paskonov V.M., Polezhayev V.I., Chudov L.A. Chislennoye modelirovaniye protsessov teplo- i massoobmena. M.: Nauka, 198. 288 p. {in Russian}

15. Dolinskiy A.A., Nakorchevskiy A.I. Osnovnyye polozheniya proyekta «Kogeneratsiya - akkumulirovaniye – teplovyye nasosy». Promyshlennaya teplotekhnika.2006. T.28, №4. P. 72-79. {in Russian}

16. Nakorchevskiy A.I. Tekhniko-ekonomicheskyy analiz gruntovykh akkumulyatorov toploty. Promyshlennaya teplotekhnika. 2007. T.29, №6. P. 61-66. {in Russian}

17. Rikhtmayyer R., Morton K. Raznostnyye metody resheniya krayevykh zadach. M.: Mir, 1972. 418 p. {in Russian}

18. Marchuk G.I. Metody vychislitel'noy matematiki. M.: Nauka. 1977. 456 p. {in Russian}