

УДК 662.995, 536.242

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ВИЛУЧЕННЯ ТЕПЛОТИ ГРУНТОВОГО МАСИВУ ОДИНОЧНИМ ВЕРТИКАЛЬНИМ ТРУБНИМ ТЕПЛОБМІННИКОМ

**Б. І. Басок<sup>1</sup>, О. М. Недбайло<sup>2</sup>, І. К. Божко<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, вул. Булаховського, 2, Київ, Україна,  
<sup>1,2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», вул.  
Борщагівська, 115, Київ, Україна, тел. +380633252220, e-mail: [nan\\_sashulya@ukr.net](mailto:nan_sashulya@ukr.net)

*В роботі представлена спрощена аналітична методика розрахунку основних теплотехнічних параметрів при експлуатації вертикального ґрунтового теплообмінника в теплонасосній технології вилучення відновлювальної теплоти.*

**Ключові слова:** відновлювана теплота ґрунту, вертикальний ґрунтовий теплообмінник, радіус розповсюдження теплоти.

## METHOD OF CALCULATION OF PARAMETERS OF HEAT EXTRACTION OF SOIL MASS HEAT BY SINGLE VERTICAL TUBE HEAT EXCHANGER

**B. Basok<sup>1</sup>, O. Nedbailo<sup>2</sup>, I. Bozhko<sup>3</sup>**

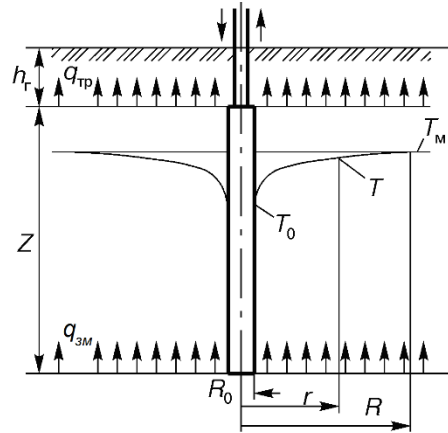
Institute of Technical Thermophysics of the NAS of Ukraine;  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute"

*The paper presents a simplified analytical method for calculating the main thermal parameters in the operation of a vertical ground heat exchanger in the heat pump technology of recovery of renewable heat.*

**Keywords:** renewable soil heat, vertical soil heat exchanger, heat distribution radius.

**ORCID:** <sup>1</sup>[0000-0002-8935-4248](https://orcid.org/0000-0002-8935-4248), <sup>2</sup>[0000-0003-1416-9651](https://orcid.org/0000-0003-1416-9651), <sup>3</sup>[0000-0001-7458-0835](https://orcid.org/0000-0001-7458-0835)

З метою вилучення відновлюваної теплоти з ґрунтового масиву, що періодично акумулюється від сонячної радіації в приповерхневому шарі ґрунту та вилучається трубними системами неглибокого закладання, в інженерній практиці часто пропонується вилучення власної теплоти Землі за допомогою вертикально орієнтованих теплообмінників глибиною порядку понад 180–200 м. При аналізі теплових процесів на таких глибинах вплив інсоляції можна не враховувати. Відомо також, що густина теплового потоку з надр досить невелика:  $q_{зм} = 0,06–0,07$  Вт/м<sup>2</sup>. Місця геотермальних аномалій із великими градієнтами температури тут не розглядаються.



**Рис. 1.** Умовна схема процесів теплообміну поміж вертикальним теплообмінником та ґрунтовим масивом

При цьому частина теплоти, що надходить від глибини масиву, не поглинається теплообмінником і проводиться до поверхневого шару Землі. Транзитна складова теплового потоку  $q_{тр}$  мінімальна на околиці теплообмінника і збільшується в міру віддалення від нього. Очевидно, що величина  $q_{тр}$  повинна задовольняти умовам

$$r = R : q_{тр} = q_{зм}, \quad \frac{\partial q_{тр}}{\partial r} = 0; \quad r = 0 : q_{тр} = 0 \quad (1)$$

та в першому наближенні описується виразом

$$q_{тр} = q_{зм} \left[ 1 - (1 - \bar{r})^n \right], \quad (2)$$

де  $\bar{r} = \frac{r}{R}$ ,  $n = 2$ . Тоді густина теплового потоку, що вилучається теплообмінником

$$q_a = q_{зм} - q_{тр} = q_{зм} (1 - \bar{r})^n. \quad (3)$$

При встановленні квазістаціонарного режиму теплообміну

$$2\pi R_0 q_0 Z = \int_0^r 2\pi q_a y dy + 2\pi \lambda_m Z r \frac{dT}{dr}, \quad (4)$$

$$q_0 = \lambda_m \left( \frac{dT}{dr} \right)_{R_0}. \quad (5)$$

Підставлення значення (3) до рівняння (4) з наступним інтегруванням дозволяє отримати диференціальне рівняння

$$\frac{dT}{d\bar{r}} = \frac{q_0 R_0}{\lambda_m \bar{r}} - \frac{q_{зм} R^2}{\lambda_m Z} \bar{r}^\varphi, \quad \varphi = \frac{1}{(n+1)(n+2)} - \frac{(1-\bar{r})^{n+1}}{n+1} + \frac{(1-\bar{r})^{n+2}}{n+2}, \quad (6)$$

розв'язок якого має вигляд

$$T_m - T = \frac{q_0 R_0}{\lambda_m} \psi, \quad \psi = -\ln \bar{r} - 0,5(1 - \bar{r}^2) + (1 - \bar{r})^{n+2} - \frac{(2n+3)(1 - \bar{r})^{n+3}}{(n+3)} + \frac{(n+1)(1 - \bar{r})^{n+4}}{(n+4)}. \quad (7)$$

Підставивши до (7) значення  $\bar{r} = \bar{r}_0 = \frac{R_0}{R}$ , знаходимо температуру ґрунтового масиву на зовнішній поверхні теплообмінника

$$T_0 = T_m - \frac{q_0 R_0}{\lambda_m} \psi_0,$$
$$\psi_0 = -\ln \bar{r}_0 - 0,5(1 - \bar{r}_0^2) + (1 - \bar{r}_0)^{n+2} - \frac{(2n+3)(1 - \bar{r}_0)^{n+3}}{(n+3)} + \frac{(n+1)(1 - \bar{r}_0)^{n+4}}{(n+4)}. \quad (8)$$

Радіус теплової взаємодії теплообмінника з ґрунтом  $R$  визначається рівнянням (4) за умови  $\left(\frac{dT}{dr}\right)_R = 0$ :

$$R = \sqrt{\frac{q_0 R_0 Z}{q_{3m}} (n+1)(n+2)}. \quad (9)$$

### Висновки

Таким чином, для отримання раціональної кількості енергії з порівняно малою потужністю необхідний значний об'єм ґрунтового масиву. У роботі [1] зазначається, що за умови довготривалої експлуатації таких систем (близько 5 років) встановлюється інша термічна рівновага в ґрунті, що характеризується нижчим рівнем розподілу значень температури по глибині у порівнянні з початковим періодом. Задля запобігання ризику промерзання верхніх шарів ґрунту (навіть у теплий період року) доцільним є використання технологій компенсації його теплового стану. Наприклад, набуває поширення застосування пасивного кондиціонування повітря у приміщеннях із передачею його надлишкової теплоти ґрунтовому масиву (теплоутилізація).

### Посилання:

1. А. Е. Денисова, А.С. Мазуренко, Ю. К. Тодорцев, В. А. Дубковский, "Исследование энергии грунта в теплонасосных геосистемах энергоснабжения", *Экотехнологии и ресурсосбережение*, № 1, с. 27–30, 2000.

УДК 624.482

## ВІДНОВЛЕННЯ ТА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ЛІКВІДОВАНИХ СВЕРДЛОВИН ДЛЯ ВИДОБУДКУ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ РЕСУРСІВ

**А. А. Барило<sup>1</sup>, О. В. Бачеріков<sup>2</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 102094, м. Київ, вул. Г. Хоткевича, 20А  
тел./факс +380442062809, e-mail: [geotherm@ukr.net](mailto:geotherm@ukr.net)

*Обґрунтовано доцільність відновлення ліквідованих нафтогазових свердловин з метою видобутку термальних вод для потреб геотермальної енергетики. Запропоновано ефективний метод інтенсифікації роботи відновлюваних свердловин.*

**Ключові слова:** геотермальні ресурси, відновлення ліквідованих свердловин, інтенсифікація свердловин.

## RECOVERY AND INTENSIFICATION OF LIQUIDATED WELLS FOR GEOTHERMAL RESOURCE EXTRACTION