

УДК 697.11

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОЛЕКТОРІВ СИСТЕМ ТЕПЛОХОЛОДОПОСТАЧАННЯ

І. А. Пономарчук

Розроблено математичну модель процесу розповсюдження теплових хвиль в шарі ґрунту вертикального колектора комбінованої системи теплохолодопостачання в режимі періодичного нагрівання та охолодження. Отримано рівняння, які визначають глибину розповсюдження теплових хвиль в шар ґрунту та визначення кількості переданої теплоти вертикального ґрунтового колектора комбінованої системи теплохолодопостачання.

Разработана математическая модель процесса распространения тепловых волн в слое ґрунта вертикального колектора комбинированной системы теплохолодоснабжения в режиме периодического нагревания и охлаждения. Получены уравнения, которые определяют глубину распространения тепловых волн в слое ґрунта и количество переданной теплоты вертикального ґрунтового колектора комбинированной системы теплохолодоснабжения.

The mathematical model of process of distribution of warming waves is developed in the layer of soil of vertical collector of the combined system of warmly end cooling supply in the mode of the periodic heating and cooling. Equalizations which determine the depth of distribution of heat-waves in the layer of ground collector of amount of the passed warmth of vertical ground collector of the combined system of warmly end cooling supply are got.

Вступ. Постановка проблеми

Сучасний стан розвитку енергоощадних технологій потребує вдосконалення існуючих технологій та конструкцій систем тепло- та холодопостачання. Використання комбінованих систем тепло- і холодопостачання дає найбільший ефект, за рахунок можливості акумулювання теплової енергії в теплий період року, з наступним її використанням в холодний період року. Акумулювання теплової енергії, при цьому, може бути здійснено з використанням вертикальних ґрунтових колекторів.

Але використання ґрунтових колекторів теплових насосів потребує досить значних площ території. Тому для найбільш ефективного функціонування даних пристроїв необхідно забезпечити оптимальні співвідношення параметрів з урахуванням властивостей ґрунта.

Формулювання мети досліджень

Метою досліджень є визначення оптимального співвідношення параметрів, які забезпечують ефективну роботу вертикальних колекторів комбінованих систем тепло- і холодопостачання.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішення таких задач: розробити математичну модель процесу розповсюдження теплових хвиль в шарі ґрунту вертикального колектора; отримати рівняння, яке визначає глибину розповсюдження теплових хвиль в шар ґрунту вертикального колектора; отримати рівняння для визначення кількості переданої теплоти вертикальним колектором в режимі періодичного нагрівання та охолодження.

Виклад основного матеріалу

Використання теплового насоса для потреб тепопостачання полягає в передачі низькопотенціальної енергії ґрунту до обслуговуваного приміщення. Нагрівання ґрунта відбувається в основному за рахунок акумулювання теплоти сонячної радіації в теплий період року. Тобто, ґрунт використовується в даному випадку як теплоакумулятор.

При використанні теплового насоса в режимі охолодження для теплового періоду року тепло, яке надходить в обслуговувані приміщення від сонячної радіації, людей, обладнання та освітлення передається до ґрунта, тобто, це тепло буде накопичуватись в шарі навколо ґрунтових колекторів. Це накопичення теплової енергії буде відбуватись при відсутності водяних підземних потоків.

Таким чином використання ґрунтових колекторів для охолодження в теплий період року дозволяє збільшити кількість акумульованої теплоти і відповідно підвищити ефективність системи

при роботі системи в режимі теплопостачання в холодний період року.

В зв'язку з тим, що ґрунтовий колектор працює в режимі періодичного нагрівання та охолодження теплові хвилі будуть розповсюджуватись на певну глибину. Ця глибина розповсюдження буде визначати оптимальний крок розташування ґрунтових колекторів з точки зору компактності колектора і також масу ґрунту, задіяного в тепловій акумуляції, відповідно кількість теплоти, яка може бути передана і відведена від ґрунта.

За результатами проведених досліджень [4] було отримано залежність, яка характеризує теплові коливання в шарі ґрунту вертикального ґрунтового колектора комбінованої системи тепло- та холодопостачання.

$$t = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\sqrt{\frac{n\pi}{a\tau_0\delta}}} C_n \cos\left(\frac{2n\pi\tau}{\tau_0} - \sqrt{\frac{n\pi}{a\tau_0}}\delta - \alpha_n\right) \quad (1)$$

де

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{та} \quad \alpha_n = \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_n}{a_n}.$$

В зв'язку з тим, що ґрунтові колектори в теплий період року віддають тепло в ґрунт, а в холодний період року відбирають, можна прийняти допущення, що температура поверхні колекторів коливається періодично, тобто, може бути прийнята, як функція косинуса, в цьому випадку:

$$t_0 = t_0^{\max} \tilde{\eta} \cos\left(\frac{2n\pi\tau}{\tau_0}\right) \quad (2)$$

де t_0^{\max} – максимальна абсолютна величина зміни температури поверхні ґрунтового колектора,

n – частота теплових коливань,

a – температуропровідність ґрунта.

Таким чином розв'язок рівняння (1) буде мати вигляд

$$t = t_0^{\max} e^{-\sqrt{\frac{n\pi}{a\tau_0\delta}}} \tilde{\eta} \cos\left(\frac{2n\pi\tau}{\tau_0} - \sqrt{\frac{n\pi}{a\tau_0}}\delta\right) \quad (3)$$

де $\delta = R_1 \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$,

R_1 та R_2 – відповідно внутрішній та зовнішній радіус циліндра ґрунту, в якому розповсюджуються теплові коливання.

Рівняння (3) характеризує теплову хвилю, яка розповсюджується від ґрунтового колектора в ґрунт з амплітудою t_0^{\max} і довжиною хвилі δ_0 , яка характеризує відстань, на яку розповсюджуються теплові коливання в шарі ґрунту.

Визначення довжини теплової хвилі в ґрунті дозволяє визначити ефективний крок розташування ґрунтових колекторів і вона може бути визначена, як:

$$\delta_0 = 2\sqrt{\frac{\pi a \tau_0}{n}} \quad (4)$$

де τ_0 – період теплових коливань в ґрунті.

Аналіз рівняння (3) показує також, що чим вище частота теплових коливань ґрунтового колектора, тим на меншу глибину в ґрунт вони проникають, тобто годинні та добові коливання температури ґрунтового колектора розповсюджуються на незначну глибину.

Кількість тепла, що віддається або поглинається вертикальним колектором може бути визначено з рівняння теплопровідності Фур'є

$$dQ_i = -\lambda A \left(\frac{dt}{d\delta}\right)_{x=0} d\tau \quad (5)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу,

Якщо продиференціювати (1) по $d\delta$ і підставити в (5) то отримаємо рівняння:

$$dQ_i = -\lambda A \tau_{0i} \sqrt{\frac{n\pi}{a\tau_0}} \left(\sin \frac{2\pi n \tau}{\tau_0} - \cos \frac{2\pi \delta \tau}{\tau_0} \right) d\tau. \quad (6)$$

Це рівняння може бути представлено також у вигляді

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = -\lambda A \tau_{0i} \sqrt{\frac{n\pi}{a\tau_0}} \sin \left(\frac{2\pi n \tau}{\tau_0} - \frac{\pi}{4} \right).$$

При інтегруванні цього рівняння від τ_1 до τ_2 отримаємо

$$Q = Q_i \Big|_{\tau_1}^{\tau_2} = \lambda A \tau_{0i} \sqrt{\frac{\tau_0}{2\pi n a}} \cos \left(\frac{2\pi n \tau}{\tau_0} - \frac{\pi}{4} \right) \Big|_{\tau_1}^{\tau_2}. \quad (7)$$

Дослідження розповсюдження теплових коливань в стінках нескінченної товщини [3] показали, що коливання температури на певній глибині відбуваються з тією ж частотою, що і на поверхні, але відбуваються із запізненням за фазою.

Приймаючи допущення, що в ґрунтовому колекторі запізнення по фазі коливань аналогічне до стінки з нескінченною товщиною можна визначити величини фазових співвідношень максимальних і мінімальних теплових потоків.

$$\tau_1 = \frac{1}{8} \tau_0 n, \quad \tau_2 = \frac{5}{8} \tau_0 n$$

Використовуючи величини часу можна визначити кількість тепла, що передається в ґрунт

$$Q_i \Big|_{\tau_1}^{\tau_2} = \lambda A \tau_{0i} \sqrt{\frac{2\tau_0}{\pi n a}} \quad (8)$$

Висновки

- Розроблено математичну модель процесу розповсюдження теплових хвиль в шарі ґрунту вертикального колектора комбінованої системи теплохолодопостачання в режимі періодичного нагрівання та охолодження.
- Отримано рівняння, яке визначає глибину розповсюдження теплових хвиль в шар ґрунту вертикального ґрунтового колектора комбінованої системи теплохолодопостачання.
- Отримано рівняння для визначення кількості переданої теплоти вертикальним колектором в режимі періодичного нагрівання та охолодження.

Використана література

1. Пономарчук І. А. Комбінована система сонячного тепло- та холодопостачання / І. А. Пономарчук. Державний департамент інтелектуальної власності, 16 тр. 2005 р. : бюл. № 5.
2. Теплые насосы / Д. Рей, Д. Макмайкл. – М. : Энергоиздат, 1982. – 224 с.
3. Основы теории теплообмена. / С. С. Кутателадзе. – М. : Атомиздат, 1979. – 416 с.
4. Пономарчук І. А. Моделювання теплових режимів колекторів комбінованої системи теплохолодопостачання / Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2010. – № 1(8). – С. 73-76.

Пономарчук Ігор Анатолійович – к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.