

ВПЛИВ АВАРІЙНОГО ЗАМЕРЗАННЯ/РОЗМОРОЖУВАННЯ КОЛЕКТОРА ТЕПЛООВОГО НАСОСУ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ПАЛЬ ПО БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ

Проценко П.О., Моркляник Б.В.

Національний університет «Львівська політехніка»
м. Львів, Україна

АНОТАЦІЯ: Стаття присвячена вирішенню задач механіки ґрунтів, обумовлених використанням ґрунтових теплових насосів. Задача розглядається на прикладі комбінування ґрунтового колектора теплового насосу з паливним фундаментом.

АННОТАЦИЯ: Статья посвящена решению задач механики грунтов, обусловленных использованием тепловых насосов. Задача рассматривается на примере комбинирования грунтового коллектора теплового насоса с свайным фундаментом.

ABSTRACT: The article is devoted to solving problems mechanics grounds caused by the use of heat pumps. The problem is considered on an example of combining the heat pump with ground collector pile foundation.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ґрунтовий тепловий насос, теплоємність, температурні поля ґрунту.

Світові тенденції розвитку теплоенергетики на сьогоднішній день мають два основних напрямки:

- зниження споживання енергії;
- використання відновлювальних (інколи їх називають альтернативними) джерел енергії.[1, с. 3]

До альтернативних джерел енергії відносяться теплові насоси. Вони представляють собою замкнену систему між конденсатором і випарником (колектором теплового насосу), яка заповнена холодоагентом. Циркуючи системою він переходить з одного агрегатного стану в інший, тим

самим організовуючи передачу тепла (режим нагрівання) або його відбір (режим кондиціонування).

Розрізняють такі типи колекторів і варіанти їх розміщення:

- вертикальні ґрунтові колектори – зонди;
- горизонтальні колектори, розміщені паралельно денній поверхні ґрунту;

- колектори, розміщені в фундаментах будівлі;

- повітряні колектори – повітрозбірники;

- колектори, занурені у водойми;

- колектори, розміщені у товщі підземних споруд [2, с.13].

У всіх випадках відбувається відбір низькопотенційної енергії від природного відновлювального джерела енергії (енергія сонця, ґрунту, повітря, води) для потреб споживача.

Внаслідок роботи ґрунтового теплового насосу відбувається теплообмін між ґрунтовим масивом та випарником, який розміщений у цьому масиві. Залежно від режиму роботи (нагрівання/кондиціонування), ґрунт охолоджується або нагрівається.

При влаштуванні ґрунтових колекторів теплових насосів необхідно враховувати конкретні гідрогеологічні умови, оскільки вони безпосередньо впливатимуть на продуктивність роботи теплового насосу та несучу здатність конструктивних елементів фундаментів та надфундаментної частини будівлі.

Основними теплофізичними характеристиками температурного режиму ґрунтів є об'ємна і питома теплоємність, коефіцієнти теплопровідності та температуропровідності.

Об'ємна теплоємність (C_v) чисельно дорівнює кількості тепла, яке необхідне одиниці об'єму ґрунту для зміни його температури на 1°C .

Питома теплоємність (C) чисельно дорівнює кількості тепла, яке необхідне одиниці ваги ґрунту для зміни його температури на 1°C .

З визначень зрозуміло, що об'ємна і питома теплоємності залежать від фізико-механічних властивостей ґрунтового масиву (тип ґрунту, вологість, щільність, пористість і т.д.).

Одним із варіантів відбору низькопотенційного ґрунтового тепла є влаштування вертикального випарника теплового насосу, розміщеного у пальовому фундаменті будівлі. Це означає, що температурний вплив від роботи теплового насосу буде поширюватись як на ґрунти основи фундаментів, так і на фундаментні конструкції. Максимальний вплив припадає на бічну поверхню пальового фундаменту, оскільки вона відіграє роль температурного містка між ґрунтовим масивом та колектором теплового насосу. Відповідно, площа бічної поверхні пальового фундаменту, через яку буде відбуватись передача температури та показники фізико-механічних властивостей ґрунту основи фундаменту є вихідними

умовами для розрахунку температурних полів навколо ґрунтового колектора теплового насосу всередині фундаменту з висячих паль. Її несучу здатність визначає тертя по бічній поверхні палі.

Передача теплової енергії відбувається за рахунок руху рідини (холодоагенту), а отже теплопередача є конвективною. В даному випадку процес переносу тепла через бічну поверхню пального фундаменту, в якому знаходиться вертикальний колектор ґрунтового теплового насосу можна описати залежністю[2]:

$$dQ = -\alpha(T_w - T_f) \cdot dF \cdot dt, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, T_w – температура бічної поверхні палі, T_f – температура холодоагенту, dF – площа бічної поверхні палі, dt – час.

В загальному випадку коефіцієнт α є функцією від багатьох змінних:

$$\alpha = f(W, T_w, T_f, \lambda, \mu, \rho, c \dots), \quad (2)$$

де W – швидкість руху холодоагенту,

λ – коефіцієнт теплопередачі,

μ – коефіцієнт в'язкості холодоагенту,

ρ – його густина,

c – питома теплоємність.

Процес теплопередачі в декартовій системі координат описується системою рівнянь виду [3,4]:

$$\begin{aligned} \rho \cdot \frac{dW_x}{dt} &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho \cdot g + \mu \cdot \left(\nabla^2 W_x + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \right); \\ \rho \cdot \frac{dW_y}{dt} &= -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho \cdot g + \mu \cdot \left(\nabla^2 W_y + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial y} \right); \\ \rho \cdot \frac{dW_z}{dt} &= -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho \cdot g + \mu \cdot \left(\nabla^2 W_z + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z} \right); \\ \theta &= \frac{\partial W_x}{\partial x} + \frac{\partial W_y}{\partial y} + \frac{\partial W_z}{\partial z}; \\ \frac{dW_x}{dt} &= \frac{\partial W_x}{\partial t} + W_x \cdot \frac{\partial W_x}{\partial x} + W_y \cdot \frac{\partial W_x}{\partial y} + W_z \cdot \frac{\partial W_x}{\partial z}; \\ \frac{dW_y}{dt} &= \frac{\partial W_y}{\partial t} + W_x \cdot \frac{\partial W_y}{\partial x} + W_y \cdot \frac{\partial W_y}{\partial y} + W_z \cdot \frac{\partial W_y}{\partial z}; \\ \frac{dW_z}{dt} &= \frac{\partial W_z}{\partial t} + W_x \cdot \frac{\partial W_z}{\partial x} + W_y \cdot \frac{\partial W_z}{\partial y} + W_z \cdot \frac{\partial W_z}{\partial z}; \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \left(\frac{\partial W_x}{\partial x} + \frac{\partial W_y}{\partial y} + \frac{\partial W_z}{\partial z} \right) + W_x \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x} + W_y \cdot \frac{\partial \rho}{\partial y} + W_z \cdot \frac{\partial \rho}{\partial z} &= 0; \\ W_x \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + W_y \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + W_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} &= \alpha \cdot \Delta T; \\ -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} &= \alpha \cdot (T_f - T_w). \end{aligned} \quad (3)$$

Тут W_x, W_y, W_z – проекції вектора швидкості руху елементарного об'єму холодоагенту на координатні осі; P – тиск в точці з координатами (x, y, z) ; $\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа в декартовій системі координат.

Рівняння (3) використовуються у випадку, коли теплообмінник колектору теплового насосу знаходиться нижче рівня ґрунтових вод.

А отже трансформація температурних полів внаслідок відбору низькопотенційного тепла з товщі ґрунтової основи фундаменту може призводити до замерзання бічної поверхні пального фундаменту. Агрегатний перехід води в ґрунті призводить до ефекту температурного пучення, що суттєво впливає на несучу здатність палі по бічній поверхні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шаповал В.Г. Температурные поля в основаниях ґрунтовых тепловых насосов: монографія / Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. - Днепропетровск: Пороги, 2011. - 123 с.
2. Шаповал В.Г. Основания и фундаменты тепловых насосов / Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. - Львов: Сполом – 2009. – 64 с.
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Абрамович Г.Н. - М.: Наука, 1976. - 888 с.
4. Машиностроение. Энциклопедический справочник. т.I. - М., 1947. – 456 с.

REFERENCES

1. V.G. Shapoval, B.V. Morklyanik Temperature fields in the grounds of groundwater heat pumps: Monograph Dnipropetrovsk: Thresholds, 2011. – 123p.
2. Shapoval V.G., Morklyanik B.V. Foundations heat pumps.- Lviv: Spolli - 2009.- 64p.
3. Abramovich G.N. Applied gas dynamics. – М.: Nauka, 1976. – 888 p.
4. Engineering. Encyclopedic Reference. t.I. - М., 1947.- 456 p.

Стаття надійшла до редакції 12.07.2016 р.