

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГЕОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ “ФУНДАМЕНТ–ГРУНТОВИЙ МАСИВ” У ЗОНІ ДІЇ КОЛЕКТОРА ТЕПЛООВОГО НАСОСА

© Моркляник Б. В., 2015

The temperature impact on the rocks is the cause of additional stress and strain on them and also phase transformations (freezing and thawing) of the pore fluid. In writing this article aim was to develop the experimental data needed for the development of methodic, directed at determining the temperature fields in rocks, in which are arranged the collectors of heat pumps. Identified and analyzed, and the impact of additional load on the ground bases and foundations, which are reservoirs of groundwater heat pumps.

**Key words:** soil heat pump, soil, loads and impacts, freezing-thawing soil, subsidence base.

Температурний вплив на гірські породи є причиною виникнення в них додаткових напружень і деформацій, а також фазових перетворень (тобто замерзання і розмерзання) порової рідини. Метою є напрацювати експериментальний матеріал, необхідний для розроблення методики, спрямованої на визначення температурних полів у гірських породах, у яких розташовані колектори теплових насосів. Встановлено та проаналізовано додаткові навантаження та впливи на ґрунтові основи та розташованих на них фундаментів, зумовлені функціонуванням розташованих у них колекторів ґрунтових теплових насосів. Запропоновано методику розрахунку та проектування основ та фундаментів, у яких розташовано колектори ґрунтових теплових насосів.

**Ключові слова:** ґрунтовий тепловий насос, ґрунт, навантаження і впливи, замерзання-розмерзання ґрунту, осідання основи.

### Постановка проблеми та її зв'язок із практичними завданнями

Теплові насоси поширилися в економічно розвинених країнах (Німеччина, Австрія, Японія та ін.) і водночас у країнах з високими вимогами до екології виробництва (Швеція, Фінляндія) [1–7].

Ця технологія дає змогу в 2,5–5 разів і більше скоротити споживання енергії для потреб опалення та кондиціонування будівель. Через зміни теплового режиму основ та їх циклічного заморожування-розморожування, внаслідок роботи ґрунтових теплових насосів виникають нові навантаження і впливи, не враховані в чинних тепер на території України нормативних документах.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано вирішення цієї проблеми

Наукові дослідження, що описують проблеми, пов'язані з використанням ґрунтових теплових насосів є достатньо висвітленими [1–15]. У них основну увагу зосереджено на прогнозуванні теплових полів у ґрунтових основах і недостатньо пророблена проблема розрахунку ґрунтових основ, фундаментів і їхніх частин, у яких розташовані колектори ґрунтових теплових насосів.

Під час роботи ґрунтових теплових насосів у реверсному режимі відбувається циклічне нагрівання та охолодження ґрунтових основ. Зрозуміло, що якщо з погляду теплотехніки циклічне

заморожування і розморожування ґрунтових основ несуттєво позначається на роботі ґрунтових теплових насосів [16], то для ґрунту, в цьому разі, відбувається різке погіршення його фізико-механічних властивостей [17].

### Мета роботи

Потрібно виявити зумовлені роботою теплових насосів впливи на ґрунт, не враховані в нормативних документах, і викласти основні положення методики розрахунку і проектування основ і фундаментів, у яких розташовані колектори ґрунтових теплових насосів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Під час роботи ґрунтових насосів у реверсному режимі відбуваються циклічні нагрівання та охолодження ґрунту, а за несприятливого збігу обставин – його циклічне заморожування-розморожування. В останньому випадку відбувається різке погіршення властивостей ґрунту [17]. Головні проблеми, що виникають під час роботи ґрунтових теплових насосів, викладено у таблиці.

### Додаткові впливи на основи і фундаменти, зумовлені експлуатацією колекторів ґрунтових теплових насосів

№ з/п	Додатковий вплив	Причина
1	Піднімання основи	Температурні деформації під час нагрівання ґрунту
2	Опускання підстави	Температурні деформації під час охолодження ґрунту
3	Морозне здимання	Об'ємні деформації під час заморожування ґрунту
4	Морозне осідання	Об'ємні деформації під час розморожування ґрунту
5	Зниження несучої здатності основи по ґрунту	Циклічне заморожування-розморожування ґрунту основи
6	Зниження несучої здатності пальових фундаментів з висячих паль по ґрунту	Циклічне заморожування-розморожування прилеглого до палі ґрунту
7	Зниження міцності і тріщиностійкості матеріалу фундаментів та їхніх частин, у яких розташовані полімерні теплообмінники	Різниця в значеннях коефіцієнтів лінійного температурного розширення бетону і полімерного матеріалу, з якого виготовлені теплообмінники
8	Зміна режиму міграції підземних вод під час їх заморожування і розморожування. Баражний ефект	Зменшення коефіцієнта фільтрації через часткове і (або) повне замерзання ґрунту
9	Деформаційні тріщини в будівлях, спорудах та їхніх частинах	Нерівномірні деформації основи
10	Просадні деформації, хімічна суфозія	Витоки з розташованих у ґрунтових основах колекторів ґрунтових теплових насосів

Нижче викладено основні положення методики розрахунку ґрунтових основ насосів, які дають змогу враховувати навантаження і впливи, викладені в таблиці та, відповідно, не враховані в чинних нормативних документах.

## Методика розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) і проектування основ ґрунтових теплових насосів

1. Розрахунок НДС основ повинні виконуватися за першою і другою групами граничних станів. Необхідно також розглядати найбільш не вигідний випадок.

2. Перед розрахунком НДС основ і фундаментів обов'язково слід виконати розрахунок температурних полів зумовлених роботою теплових насосів, а також виявлення зон замерзання і розмерзання.

3. Крім навантажень і впливів, зумовлених у ДБН В.1.2-2: 2006, необхідно враховувати навантаження, зумовлені заморожуванням і розморожуванням основи, а також додаткові зусилля, зумовлені різницею коефіцієнтів лінійного температурного розширення бетону і полімерного матеріалу, з якого виконані колектори теплових насосів. Ці навантаження слід розглядати як змінні тривалі.

4. Під час розрахунків за першою групою граничних станів необхідно виконати умову:

$$F \leq F_u, \quad (1)$$

де  $F$  – діюче на основу або фундамент навантаження, а  $F_u$  – його граничне значення.

4.1. Як розрахункові слід приймати розрахункові характеристики ґрунту, визначені у інтервалі ймовірності  $\alpha = 0,95$ .

4.2. Визначення міцності ґрунту необхідно проводити з урахуванням її зниження під час розморожування ґрунту.

4.3. Визначаючи несучу здатність висячих паль слід враховувати істотне зниження несучої здатності по бічній поверхні під час заморожування-розморожування ґрунту. Для цього слід використовувати формулу

$$F_d = k_d \cdot F_d^{\text{обн}}, \quad (2)$$

де  $F_d^{\text{обн}}$  – несуча здатність палі, встановлена згідно з рекомендаціями ДБН [18], а  $k_d$  – експериментальний коефіцієнт зниження несучої здатності палі.

5. Під час розрахунків по другій групі граничних станів необхідно виконати умову:

$$S \leq S_u, \quad (3)$$

де  $S$  – фактичне осідання основи чи фундаменту, а  $S_u$  – її граничне значення, визначене за рекомендаціями ДБН В.2.1-10-2009.

5.1. Слід розрізняти осідання, зумовлені силовими впливами  $S_c$ , морозним здиманням ґрунту (піднімання)  $S_n$  і осідання, зумовлені розмерзанням ґрунту (опускання)  $S_o$ .

5.2. Як розрахункове слід приймати найбільше з осідань:

$$S = S_c + S_n \quad \text{або} \quad S = S_c + S_o. \quad (4)$$

5.3. Осідання  $S_c$  слід визначати за методикою ДБН. Як розрахункові слід приймати деформаційні характеристики, встановлені для ґрунту в природному стані.

5.4. Осідання  $S_o$  слід визначати за формулою:

$$S_o = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{o,i} \cdot h_i \cdot (k_{o,i} - k_{o,i-1}), \quad (5)$$

де  $\varepsilon_{o,i}$  – відносна деформація  $i$ -го шару товщиною  $h_i$  під час розморожування, а  $k_{o,i}$  – коефіцієнт умов роботи.

Якщо експериментальні дані відсутні, то допускається приймати  $\varepsilon_{o,i} = 0,03$ .

5.5. Осідання  $S_n$  слід визначати за формулою:

$$S_n = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{n,i} \cdot h_i \cdot (k_{n,i} - k_{n,i-1}), \quad (6)$$

де  $\varepsilon_{n,i}$  – відносна деформація  $i$ -го шару товщиною  $h_i$  під час заморожування ґрунту, а  $k_{n,i}$  – коефіцієнт умов роботи.

Якщо експериментальні дані відсутні, то допускається приймати  $\varepsilon_{n,i} = 0,03$ .

5.6. Якщо фундамент розташований поза зоною замерзання-розмерзання основи, то для визначення його додаткових деформацій слід використовувати метод кутових точок.

6. У разі замерзання основи слід враховувати зниження коефіцієнта фільтрації, в результаті чого можливий підйом рівня підземних вод і додаткове обводнення основи.

7. У разі розміщення колекторів теплових насосів всередині залізобетонних фундаментів та їхніх елементів, для сприйняття додаткових зусиль, зумовлених різницею коефіцієнтів температурного розширення, необхідне встановлення додаткових арматурних каркасів.

8. Допускається виконувати спільний розрахунок напружено-деформованого стану системи “основа, в якому розміщений колектор теплового насоса – фундамент-надфундаментна споруда”. Для цього доцільно використовувати стандартні програмні комплекси, наприклад, такі як “Ліра”, “Скад”, “Космос”.

### Висновок

Виявлено зумовлені роботою теплових насосів впливи на ґрунт, не враховані в нормативних документах, викладено основні положення методики розрахунку і проектування основ і фундаментів, у яких розташовані колектори ґрунтових теплових насосів.

1. Популярна механіка. – М., 2008. – № 8 (70). – С. 78–81. 2. Пономарьов А. Б. Енергетичні фундаменти / А. Б. Пономарьов, А. А. Атаманов // Будівельна наука і техніка. – 2008. – № 4. – С. 57–61. 3. Brandl H. Energy foundation and other thermo – active ground structures / H. Brandl // Geotechnique 56. – 2006. – № 2. – P. 81–122. 4. Brandl H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into the ground. Proceeding of the 3-th international Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles / H. Brandl // Ghent. Technical University, Vienna, Austria. – 1998. – P. 38–60. 5. Популярна механіка. – М., 2006. – № 7 (45). – С. 28–30. 6. Популярна механіка. – М., 2008. – № 5 (67). – С. 89–91. 7. Чорна К. В. Використання конструкцій фундаментів глибокого закладення при витяганні геотермальної енергії / К. В. Чорна // Світ геотехніки. – 2006. – № 1. – С. 27–31. 8. Шаповал В. Г. Закономірності зміни в часі температури на денній поверхні ґрунтових основ / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник // Зб. наук. праць (галузевого машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2007. – № 28. – С. 298–302. 9. Шаповал В. Г. Основи та фундаменти теплових насосів / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник. – Львів : Сполом, 2009. – 64 с. 10. Шаповал В. Г. Теплові насоси, енергетичні основи і фундаменти (частина 1) / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник // Світ геотехніки. – 2009. – № 1. – С. 27–29. 11. Шаповал В. Г. Теплові насоси, енергетичні основи і фундаменти (частина 2) / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник // Світ геотехніки. – 2009. – № 2. – С. 28–29. 12. Шаповал В. Г. Теплові насоси, енергетичні основи і фундаменти (частина 3) / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник // Світ геотехніки. – 2009. – № 3. – С. 24–26. 13. Шаповал В. Г. Теплові насоси, енергетичні основи і фундаменти (частина 4) / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник // Світ геотехніки. – 2009. – № 4. – С. 32–33. 14. Температурні поля в ґрунтових основі теплових насосів : монографія. – Дніпропетровськ : Пороги, 2011. – 123 с. 15. Захаров А. В. Аналіз взаємодії енергоефективних конструкцій фундаментів з ґрунтовим масивом : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2012. – 20 с. 16. Геотермічні теплові насоси для опалення і приготування гарячої витратної води. Зошит проектанта. – К. : Junkers, 2009. – 103 с. 17. СНуП 2.02.04-88 “Підстави і фундаменти на вічній ґрунтах”. 18. ДБН В.2.1-10-89. Основи та фундаменти споруд.