

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ КОЛИВАНЬ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ ПІД ЧАС РОБОТИ КОЛЕКТОРІВ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Б. Моркляник, д. т. н., Б. Брездень, аспірант  
Національний університет «Львівська політехніка»

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.033>

**Постановка проблеми.** В окремих випадках під час роботи теплового насоса можливе заморожування основи, що може призвести до зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів, а також температурних деформацій – напружень у фундаментах. Теплові насоси широко застосовують для використання «зайвого» низькотемпературного тепла з відновлюваних джерел, таких як повітря, вода, земля та відходи життєдіяльності людини – для житлових та комерційних приміщень, а також для підігріву, охолодження та промислових процесів, що дає змогу зменшити викиди вуглекислого газу на 8%, а відтак – забезпечити виконання Україною Кіотського протоколу.

У світовій практиці будівництва поширене отримання низькопотенційного тепла ґрунту з приповерхової зони використанням горизонтальних колекторів та з глибини земних шарів використанням вертикальних колекторів теплових насосів. Ефективний спосіб – застосування суміщених фундаментів (у випадку розташування колектора теплового насоса у тілі фундаменту), особливо це актуально за використання глибинних колекторів.

За циклічного замерзання-розмерзання ґрунтів основи внаслідок роботи теплового насоса погіршуються міцнісні і деформаційні характеристики: зменшуються опір зрізу, кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення і модуль деформації, при цьому зростає осідання ґрунту. Ці показники впливають на несучу здатність і осідання фундаментів (особливо суміщеного типу та всячих паль), що може зменшити надійність будівель і споруд з енергоефективними фундаментами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі досліджень роботи теплових насосів присвячено чимало наукових праць і публікацій. Проте у більшості з них висвітлено окремі аспекти цього питання, такі як загальні питання [1; 2; 13; 15-17], теплові режими роботи теплових насосів [1], економічні аспекти [1; 2; 13], визначення температурних полів у ґрунтових основах [5; 6; 8; 11; 12], реалізація проектів [1; 2] тощо.

Донедавна більшість науковців досліджувала роботу теплових насосів з погляду їх ефективності, не звертаючи уваги на вплив роботи таких насосів на ґрунти основи і фундаменти будівель і споруд. Основоположником досліджень впливу роботи теплових насосів на ґрунти, основи і фундаменти будівель і споруд в Україні є Б. В. Моркляник [3; 4; 7; 9; 10; 14-17]. Під його керівництвом проведені фундаментальні дослідження температурних полів у ґрунтових основах, експериментальні дослідження впливу знакозмінного заморожування-розморожування на властивості ґрунту і матеріалу будівельних конструкцій, теоретичні дослідження закономірностей деформування гірських порід, зумовлених їхнім заморожуванням-розморожуванням за рахунок теплообміну з колекторами теплових насосів, методики визначення напружено-деформованого стану геомеханічної системи «фундамент-ґрунтовий масив» у зоні дії колектора теплового насоса.

На сьогодні проблема оцінки впливу циклічного замерзання-розмерзання ґрунтів основи внаслідок роботи теплового насоса актуальна з позиції надійності будівель і споруд як у більшості розвинутих країн світу, так і в нашій державі. Проведені дослідження фізико-механічних, міцнісних і деформаційних характеристик ґрунтів основи при трьох циклах замерзання-розмерзання, тому актуальне питання зміни міцнісних і деформаційних характеристик ґрунтів основи за більшої кількості циклів замерзання-розмерзання.

Експериментально досліджено вплив циклічного замерзання-розмерзання ґрунту основи на його міцнісні та деформаційні характеристики за збільшеної кількості циклів замерзання-розмерзання.

Проведені експериментально-теоретичні дослідження показують значний вплив циклічного замерзання-розмерзання ґрунту основи на його міцнісні і деформаційні характеристики.

**Постановка завдання.** Наше завдання – дослідження впливу роботи теплового насоса на міцність і деформативність ґрунту основи і фундамент будівлі.

**Виклад основного матеріалу.** За експлуатації теплового насоса можливе циклічне заморожування-розморожування колекторів, при цьому порова волога може збільшитися в об'ємі до 10 %, а міцність і модуль деформації льоду близькі до характеристик матеріалів фундаментів, тобто вищі, ніж у ґрунтів у незамерзеному стані. Під час проектування основ і фундаментів з колекторами теплових насосів необхідно врахувати ці особливості у таких випадках:

- за визначення деформацій морозного здимання;
- за циклічного заморожування-розморожування відбувається зниження фізико-механічних характеристик ґрунту, що необхідно враховувати в розрахунку його міцнісних і деформаційних характеристик;
- за циклічного заморожування-розморожування погіршуються властивості матеріалу фундаменту (явище морозостійкості);
- у конструкціях фундаментів можуть виникати додаткові температурні деформації у разі застосування полімерних колекторів теплових насосів;
- якщо колектори теплових насосів перебувають нижче за рівень підземних вод.

Зі зростанням кількості циклів замерзання-розмерзання збільшується кількість пошкоджень зразків і змінюються їх особливості (деструкція граней, лущення, утворення тріщин, остаточне руйнування). Циклічне заморожування-розморожування ґрунту може призвести до його руйнування.

Проведені дослідження впливу циклічного заморожування-розморожування на міцнісні та де-

формаційні властивості трьох видів ґрунту – піску середньої крупності (1), суглинка (2) і глини (3).

Попередньо ґрунтові зразки обтискали вертикальним навантаженням 100 кПа і досліджували опір зрізу на кожному циклі замерзання-розмерзання (рис. 1-5).

Для апроксимації залежності використовували залежність [7]:

$$\tau_i = a_i \cdot \exp(b_i \cdot n), \quad (1)$$

де  $\tau_i$  – руйнівне дотичне напруження за середнього тиску на зразок  $\sigma_i$ ;  $a_i$  і  $b_i$  – емпіричні коефіцієнти;  $n$  – кількість циклів.

Порівняння експериментальних і апроксимованих (1) даних показує, що похибка розрахунків не перевищує 4%.

Для апроксимації залежності використовували залежність [7]:

$$c_i = a_i \cdot \exp(b_i \cdot n), \quad (2)$$

де  $c_i$  – питоме зчеплення;  $a_i$  і  $b_i$  – емпіричні коефіцієнти;  $n$  – кількість циклів.

Порівняння експериментальних і апроксимованих (2) даних показує, що похибка розрахунків не перевищує 2%.

Для апроксимації залежності використовували залежність [7]:

$$\varphi_i = a_i \cdot \exp(b_i \cdot n), \quad (3)$$

де  $\varphi_i$  – кут внутрішнього тертя;  $a_i$  і  $b_i$  – емпіричні коефіцієнти;  $n$  – кількість циклів.

Порівняння експериментальних і апроксимованих (3) даних показує, що похибка розрахунків не перевищує 12%.

Для апроксимації залежності використовували залежність [7]:

$$E_i = a_i \cdot \exp(b_i \cdot n), \quad (4)$$

де  $E_i$  – модуль деформації;  $a_i$  і  $b_i$  – емпіричні коефіцієнти;  $n$  – кількість циклів.

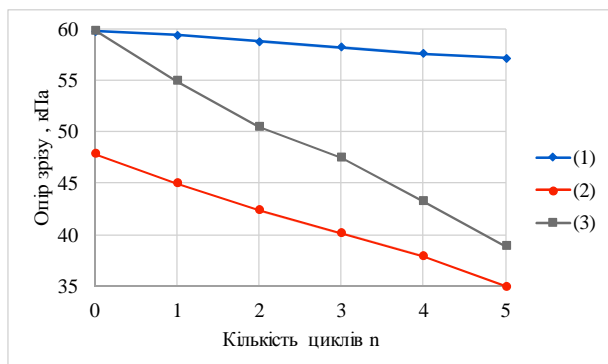


Рис. 1. Залежність опору зрізу ґрунту від кількості циклів замерзання-розмерзання: пісок середньої крупності (1), суглинок (2), глина (3)

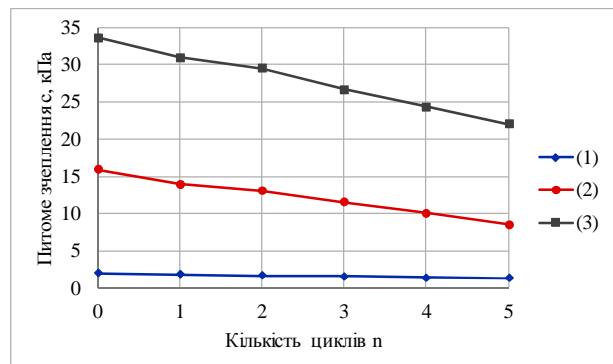


Рис. 2. Залежність питомого зчеплення ґрунту від кількості циклів замерзання-розмерзання: пісок середньої крупності (1), суглинок (2), глина (3)

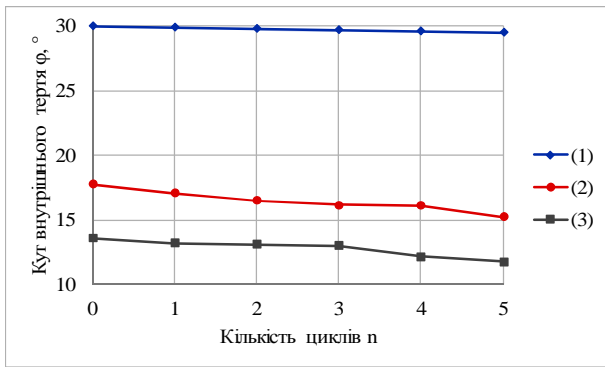


Рис. 3. Залежність кута внутрішнього тертя ґрунту від кількості циклів замерзання-розмерзання: пісок середньої крупності (1), суглинку (2), глини (3)

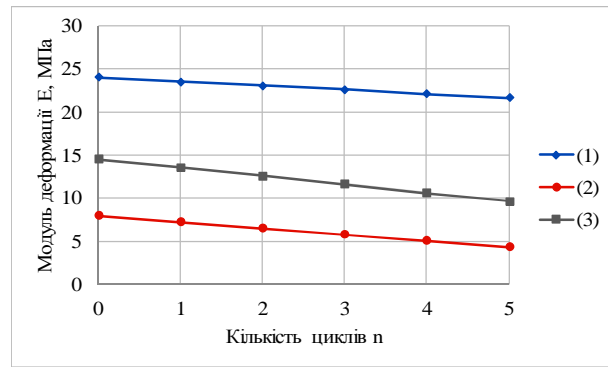


Рис. 4. Залежність модуля деформації ґрунту від кількості циклів замерзання-розмерзання: пісок середньої крупності (1), суглинку (2), глини (3)

Порівняння експериментальних і апроксимованих (4) даних показує, що похибка розрахунків не перевищує 23%.

Для апроксимації залежності використовують залежність [7]:

$$s_i = a_i \cdot \exp(b_i \cdot n), \quad (5)$$

де  $s_i$  – осідання ґрунту;  $a_i$  і  $b_i$  – емпіричні коефіцієнти;  $n$  – кількість циклів.

Порівняння експериментальних і апроксимованих (5) даних показує, що похибка розрахунків не перевищує 13%.

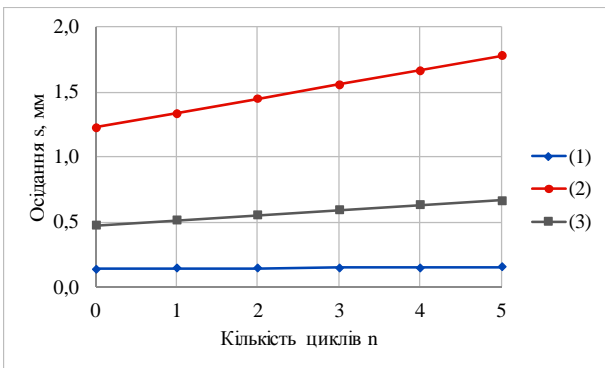


Рис. 5. Залежність осідання ґрунту від кількості циклів замерзання-розмерзання: пісок середньої крупності (1), суглинку (2), глини (3)

**Висновки.** За результатами проведених досліджень можна дійти таких висновків:

1. Дослідження впливу роботи теплового насоса на міцність і деформативність ґрунту основи і фундамент будівлі – актуальна науково-технічна проблема з позиції забезпечення надійності споруд.

2. При проектуванні колекторів теплонасосних установок необхідно ретельно досліджувати фізико-механічні характеристики ґрунтів основи.

3. Циклічне замерзання-розмерзання ґрунту зменшує його опір зрізу від 4 (для піску) до 35 % (для глини). Для розрахунків можна використати емпіричні залежності, похибка розрахунків не перевищує 4%.

4. Циклічне замерзання-розмерзання ґрунту зменшує кут внутрішнього тертя ґрунту і його питоме зчеплення. Найбільший вплив замерзання-розмерзання ґрунту має на питоме зчеплення суглинку. Для розрахунків можна використати емпіричні залежності, похибка розрахунків не перевищує 2 (кут внутрішнього тертя ґрунту) та 12% (питоме зчеплення ґрунту).

5. Циклічне замерзання-розмерзання ґрунту зменшує модуль деформації ґрунту, при цьому осідання ґрунту збільшуються. Найбільший вплив замерзання-розмерзання ґрунту має на модуль деформації суглинку. Для розрахунків можна використати емпіричні залежності, похибка розрахунків не перевищує 23 (модуль деформації ґрунту) та 13% (осідання ґрунту).

Актуальне експериментально-теоретичне дослідження у подальшому можна використати у розрахунку основ і фундаментів будівель і споруд за чинними нормами проектування ДБН з урахуванням зміни міцнісних і деформаційних характеристик ґрунтів основи внаслідок впливу на них циклічного замерзання-розмерзання.

### Бібліографічний список

1. Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.03. Москва, 2006. 432 с.
2. Клепанда А. С. Опыт разработки и внедрения тепловых насосов в Украине, анализ существующих проблем. *Електронний журнал ЕСКО. Города и здания*. 2014. URL: [http://www.journal.esco.co.ua/cities/2014\\_6\\_7/art140.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/cities/2014_6_7/art140.pdf).

3. Моркляник Б. В., Фартушний А. С., Шаповал В. Г. Вплив колекторів теплових насосів на міцнісні та несучі характеристики основ та фундаментів при знакоперемінних температурах. *Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Кременчук: КрНУ, 2013. Вип. 2 (12). С. 188–195.
4. Моркляник Б. В. Вплив роботи колекторів теплових насосів на геомеханічну систему «грунтовий масив-надфундаментна споруда». *Залізобетон минулого і майбутнього: матеріали Всеукр. міжвуз. наук. семінару*, Львів, 14–15 трав. 2015 р. Львів, 2015. С. 49–53.
5. Моркляник Б. В. Закономерности изменения тепловой энергии в грунтовой основе при работе вертикального или плоского коллектора теплового насоса. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2015. Вип. 3(92). Ч. 1. С. 85–90.
6. Моркляник Б. В. Закономерности сезонного распределения тепловых полей в грунтовой основе. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2015. № 2 (91). С. 149–153.
7. Моркляник Б. В. Закономерности деформирования геомеханической системы «фундамент-грунтовый массив» в зоне дѣи коллектора теплового насоса: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.09. Львів, 2015. 349 с.
8. Моркляник Б. В., Фартушний А. С., Шаповал В. Г. Методика розрахунку температурних полів, обумовлених теплообміном між чотирма U-подібними колекторами теплового насоса необмеженої довжини та ґрунтовими основами. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр.* Рівне, 2014. Вип. 28. С. 436–441.
9. Моркляник Б. В., Фартушний А. С., Рабочая Т. В. Моделирование деформаций основы, спрочинених роботою ґрунтових теплових насосів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. Кременчук: КрНУ, 2014. Вип. 2 (14). С. 180–186.
10. Моркляник Б. В., Шаповал В. Г., Фартушний А. С. Особенности расчета и проектирования оснований тепловых насосов. *Будівельні конструкції*. Київ, 2013. Вип. 77. С. 265–269.
11. Моркляник Б. В., Фартушний А. С., Шаповал В. Г. Температурное поле в основании плоского коллектора теплового насоса конечных размеров. *Перспективы развития горного дела и подземного строительства: материалы V Междунар. науч.-техн. конф.: Энергетика. Экология. Человек (конференция молодых ученых – аспирантов и магистрантов)*. Киев, 2015. С. 53–57.
12. Моркляник Б. В., Фартушний А. С., Шаповал В. Г. Тепловые поля в грунтовой основе, образованные в ходе теплообмена между основанием и четырьмя U-образными коллекторами теплового насоса неограниченной длины. *Перспективы развития горного дела и подземного строительства: материалы V Междунар. науч.-техн. конф.: Энергетика. Экология. Человек (конференция молодых ученых – аспирантов и магистрантов)*. Киев, 2013. С. 49–53.
13. Олейникова Е. Н. Исследование и оптимизация теплонасосных установок в структуре схем ПГУ-ТЭЦ: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. Москва, 2015. 164 с.
14. Morklyanyk B., Fartushnyy A. Simulation of the Impact of Work of Heat Pumps on the Frost Heaving of the Base Soil. *Econtechmod: an International Quarterly Journal on economics of technology and modeling processes*. Lublin; Rzeszow, 2015. Vol. 04, No. 2. P. 71–74.
15. Morklyanyk B. V. The Heat Pumps Foundation Design Calculation Aspects. *Academic Journal of Science*. 2013. Vol. 02, No. 01. P. 283–288.
16. Protsenko P., Morklyanyk B. Identification of additional strain of foundations during the work of the heating pumps. *5-th International Conference of Young Scientists GAC-2013*. Lviv, 2013. С. 156–157.
17. Protsenko P., Morklyanyk B. The impact of heating pumps on soil foundation. *5-th International Conference of Young Scientists GAC-2013*. Lviv, 2013. С. 154–155.

**Моркляник Б., Брездень Б.**

### **ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ КОЛИВАНЬ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ ПІД ЧАС РОБОТИ КОЛЕКТОРІВ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ**

Проведені експериментальні і теоретичні дослідження впливу циклічного замерзання-розмерзання ґрунтів основи на їх міцнісні і деформаційні характеристики з позиції забезпечення надійності основ і фундаментів будівель та споруд, на несучу здатність поодинокі висячої палі за методикою ДБН. Подано матеріали експериментальних досліджень процесу тріщиноутворення в конструкціях із композитного матеріалу (бетону з полімерною вставкою). Показано, що в діапазоні температур  $-2...+40$  С має місце інтенсивне тріщиноутворення. Зроблено висновок про те, що за проектування суміщених фундаментів теплових насосів, в яких розташовані пластикові теплообмінники, необхідно враховувати, що зумовлено відмінністю в коефіцієнтах теплового розширення додаткових напружень.

Досліджено вплив роботи теплового насоса на міцність і деформативність ґрунту основи і фундамент будівлі. При проектуванні колекторів теплових насосів необхідно ретельно досліджувати фізико-механічні характеристики основи ґрунту. Циклічне замерзання-розмерзання ґрунту зменшує його опір зрізу від 4 (для піску) до 35 % (для глини). Для розрахунків можна використати емпіричні залежності, похибка розрахунків

не перевищує 4%. Циклічне замерзання-розмерзання ґрунту зменшує кут внутрішнього тертя ґрунту і його питоме зчеплення. Найбільший вплив замерзання-розмерзання ґрунту має на питоме зчеплення суглинку. Досліджено, що циклічне замерзання-розмерзання ґрунту зменшує модуль деформації ґрунту, при цьому осідання ґрунту збільшуються. Найбільший вплив замерзання-розмерзання ґрунту має на модуль деформації суглинку.

**Ключові слова:** тепловий насос, циклічне замерзання-розмерзання, колектор.

**Morklianyk B., Brezden B.**

#### **THE INFLUENCE OF TEMPERATURE FLOWS ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS IN THE WORK OF HEAT PUMPS COLLECTORS**

The article deals with the impact of cyclic freezing–thawing on the deformation and strong characteristics of soils foundations from the perspective of ensuring the reliability of foundations and foundations of buildings and structures. Experimental and theoretical investigations of the influence of cyclic freezing of soils on the bases of the bearing capacity of a single hanging pile are carried out in accordance with the methodology of the DBN. This work includes experimental research materials for the cracks formation process for composite material (concrete with a polymer insert). It is shown that in the temperature range of  $-2...+40$  °C there is a intense cracks formation process. It is concluded that the extra tension, caused by difference in coefficients of thermal expansion, must be considered while designing of foundations combined with heat pump collectors in which there are plastic heat exchangers.

The influence of the heat pump's work on the strength and deformability of the soil foundation's and the foundation of the building is investigated. It is necessary to carefully investigate the physical and mechanical characteristics of the soil foundations when designing heat pump collectors. Cyclical freezing of the soil reduces its resistance to a cut from 4 (for sand) to 35% (for clay). For calculations you can use empirical dependencies, the calculation error does not exceed 4%. Cyclical freezing-thawing of the soil reduces the angle of the internal friction of the soil and its specific adhesion. The greatest impact of freezing-freezing of the soil is on the specific adhesion of the loam. It was investigated that cyclic freezing-thawing of soil reduces deformation of the soil, while soil subsidence increases. The greatest effect of freezing-freezing of soil is on the modulus of deformation of the loam.

**Key words:** heat pump, cyclic freezing–thawing, collector.

*Стаття надійшла 23.03.2018.*