

УДК 624.15

**РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОДИНОЧНОЇ
ВИСЯЧОЇ ПАЛІ ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ ЗАМЕРЗАННІ-
РОЗМЕРЗАННІ ҐРУНТУ ОСНОВИ ПРИ РОБОТІ
ТЕПЛОВОГО НАСОСА**

**CALCULATION OF THE SATISFACTORY SUSTAINABILITY
OF A SINGLE-BASED POWDER FOR CYLINDER-SURFACE-
MAKING BASELINE GROUNDS FOR THE HEAT PUMP WORK**

Моркляник Б.В., д.т.н., проф. (НУ «Львівська політехніка», м. Львів),
Проценко П.О., асп. (НУ «Львівська політехніка», м. Львів), Іваськевич О.М.,
асп. (НУ «Львівська політехніка», м. Львів)

Morklyanyk B.V., DSc in engineering, professor (National University
“Lviv Polytechnic”, Lviv), Protsenko P.O., postgraduate (National University “Lviv
Polytechnic”, Lviv), Ivaskevych O.M., postgraduate (National University “Lviv
Polytechnic”, Lviv)

Проведені експериментальні і теоретичні дослідження впливу
циклічного замерзання-розмерзання ґрунтів основи на несучу
здатність одиночної висячої палі за методикою ДБН.

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. One of the most
important processes occurring in the freezing of the soil, requiring consideration in
the design of foundations and bases, is an increase in its volume (as a rule, uneven)
and subsequent settling-sinking during thawing (also uneven), which are the most
common cause of deformation of various buildings and structures (especially low-
loaded). During freezing of soils (the main stage), especially within the limits
intensive phase transitions of water (at temperatures from 0 to -5 °), for some
conditions may lead to a significant redistribution of water contained in the soil.

Ключові слова: несуча здатність, одиночна висяча паля, тепловий
насос, вертикальний колектор, фундамент, циклічне замерзання-
розмерзання.

Key words: bearing capacity, single hanging pile, heat pump,
vertical collector, foundation, cyclic freezing.

Технологія використання теплових насосів показує, що для них не існує обмеження потужності. Джерела тепла для теплового насоса, як навколишнє повітря, земля, водойми є нескінченно доступними та відновлювальними; тільки рушійна сила теплового насоса побічно викликає викиди вуглекислого газу.

Тепловий насос використовує електричну енергію значно ефективніше будь-яких котлів, які спалюють паливо. Коефіцієнт ефективності теплових насосів (коефіцієнт перетворення тепла) значно більший одиниці ($\approx 2,5 \dots 4,5$).

У випадку використання геотермальної енергії обов'язковим є обстеження земельної ділянки для визначення типу ґрунту, його теплоємності, геологічних особливостей та можливості розташування ґрунтових зондів чи колекторів.

При використанні теплових насосів для опалення, гарячого водопостачання та охолодження, що використовують низькопотенційне тепло зовнішнього повітря в якості джерела, теплоносієм може бути як вода, так і розсол з температурою нижче нуля. При цьому можливе заморожування основи, що може призвести до зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів; при використанні суміщених фундаментів з теплообмінниками можливе зменшення їх несучої здатності.

При циклічному замерзанні-розмерзанні ґрунтів основи внаслідок роботи теплового насосу відбувається погіршення їх міцнісних і деформаційних характеристик: зменшуються опір різку, кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення і модуль деформації, при цьому збільшуються осідання ґрунту. Ці показники впливають на несучу здатність і осідання фундаментів (особливо суміщеного типу та висячих паль), що може зменшити надійність будівель і споруд з енергоефективними фундаментами.

Тому дослідження впливу роботи теплового насосу на міцність і деформативність ґрунту основи і фундамент будівлі є актуальною науково-технічною проблемою з позиції забезпечення надійності споруд.

Тема дослідження пов'язана з державною цільовою економічною програмою енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2017 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243, а також з науковими напрямками інституту будівництва та

інженерії доквілля і кафедри опору матеріалів та будівельної механіки - енергоощадні технології у будівництві.

Проблемі досліджень роботи теплових насосів присвячено чимало наукових праць і публікацій. Проте у більшості з них висвітлюються окремі аспекти цього питання, такі як загальні питання [1, 12, 13, 15, 16, 17], теплові режими роботи теплових насосів [1], економічні аспекти [1, 12, 13], визначення температурних полів у ґрунтових основах [5, 6, 8, 11], реалізацію проектів [1, 13] тощо.

Донедавна більшість наукових робіт досліджували роботу теплових насосів з точки зору їх ефективності, не звертаючи увагу на вплив роботи теплових насосів на ґрунти основи і фундаменти будівель і споруд. Вперше дослідження впливу роботи теплових насосів на ґрунти основи і фундаменти будівель і споруд в Україні були проведені Морклянником Б.В. [4, 7, 9, 10, 14-17]. У цих працях запропоновано методику визначення напружено-деформованого стану геомеханічної системи «фундамент-ґрунтовий масив» у зоні дії колектора теплового насоса.

На даний час проблема оцінки впливу циклічного замерзання-розмерзання ґрунтів основи внаслідок роботи теплового насосу є актуальною з позиції надійності будівель і споруд як у більшості розвинутих країн світу, так і в нашій державі. До цього часу не проведені дослідження несучої здатності одиночної висячої палі при циклічному замерзанні-розмерзанні ґрунтів основи та її розрахунок за методикою ДБН [2].

Новизна роботи полягає у експериментально-теоретичному дослідженні впливу циклічного замерзання-розмерзання ґрунту основи на несучу здатність одиночної висячої палі за методикою ДБН [2].

Проведені експериментально-теоретичні дослідження показують значний вплив циклічного замерзання-розмерзання ґрунту основи на несучу здатність одиночної висячої палі. Результати роботи можуть бути використані при вдосконаленні теорії проектування і застосування теплових насосів, а також суміщених фундаментів, особливо палевих. Окремі фрагменти дослідження можуть бути використані в навчальному процесі з дисциплін «Основи та фундаменти», «Енергозберігаючі технології в будівництві», підготовці науково-методичних розробок, формуванні лекційних курсів тощо.

Для розрахунків несучої здатності і деформативності одиночної висячої палі при циклічному замерзанні-розмерзанні ґрунту основи використовується методика ДБН В.2.1-10-2009 «Основи та фундаменти споруд» [2] з врахуванням зміни розрахункових характеристик ґрунту.

Несуча здатність одиночної висячої палі визначається як сума сил розрахункових опорів ґрунтів основи на її бічній поверхні:

$$F_d = \gamma_c u \sum \gamma_{cf} f_i h_i$$

де γ_c - коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті;

u - зовнішній периметр поперечного перерізу палі, м;

γ_{cf} - коефіцієнт умов роботи ґрунту на бічній поверхні палі, що враховує вплив способу занурення палі на розрахунковий опір ґрунту;

h_i - товщина i -го шару ґрунту, дотичного з бічною поверхнею палі, м.

f_i - розрахунковий опір i -го шару ґрунту основи на бічній поверхні палі, кПа.

$$f_i = \sigma_{zq,i} \frac{v_i}{1 - v_i} \operatorname{tg} \varphi_{II,i} + c_{II,i} \quad (2)$$

де $\sigma_{zq,i}$ - напруження від власної ваги ґрунту в середині i -го розрахункового шару ґрунтової основи;

v_i - коефіцієнт Пуассона;

φ_{II} - кут внутрішнього тертя;

c_{II} - питоме зчеплення.

При визначенні розрахункових опорів ґрунтів на бічній поверхні палі f_i пласти ґрунтів розділяють на однорідні шари товщиною не більше 2 м.

Для розрахунку приймемо одиночну висячу палю прямокутного перерізу 30×30 см глибиною закладання 10 м, опір основи під нижнім кінцем палі не враховується.

Ґрунт основи - пісок середньої крупності

γ_c - коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті, $\gamma_c = 1$;

u - зовнішній периметр поперечного перерізу палі, $u = 1,2$ м;

$\gamma_{cf} = 1$;

h_i - товщина шару ґрунту, $h_i = 2$ м;

v_i - коефіцієнт Пуассона, $v_i = 0,3$;

φ_{II} - кут внутрішнього тертя, $\varphi_{II} = 30^\circ$;

c_{II} - питоме зчеплення, $c_{II} = 2$ кПа;

$\sigma_{zq,i}$ - напруження від власної ваги ґрунту в середині i -го розрахункового шару ґрунтової основи;

$$\sigma_{zq,i} = \gamma h \quad (3)$$

де γ - питома вага i -го шару ґрунту, $\gamma = 18,4 \text{ кН/м}^3$;

h_i - товщина шару ґрунту, $h_i = 2 \text{ м}$;

$$\sigma_{zq,1} = \gamma h = 18,4 \cdot 2 = 36,8 \text{ кПа}$$

$$f_1 = 36,8 \cdot \frac{0,3}{1 - 0,3} \cdot \text{tg } 30^\circ + 2 = 11,1 \text{ кПа}$$

Для інших шарів ґрунту проведені аналогічні розрахунки, всі дані занесені у таблицю 1.

Несуча здатність одиночної висячої палі у піску (0 цикл)

| Показник | № шару | | | | |
|-----------------------------|--------|------|-------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $\gamma, \text{кН/м}^3$ | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 |
| $h, \text{м}$ | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| $\sigma_{zq,i}, \text{кПа}$ | 36,8 | 73,6 | 110,4 | 147,2 | 184 |
| ν | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| $\varphi_{II}, ^\circ$ | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| $c_{II}, \text{кПа}$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| $f, \text{кПа}$ | 11,1 | 20,2 | 29,3 | 38,4 | 47,5 |

$$F_d = \gamma_c u \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot (11,1 + 20,2 + 29,3 + 38,4 + 47,5) = 351,8 \text{ кН}$$

Розрахунок несучої здатності одиночної висячої палі після одного циклу замерзання-розмерзання наведений у таблиці 2.

Несуча здатність одиночної висячої палі у піску (1 цикл)

| Показник | № шару | | | | |
|----------|--------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γ , кН/м ³ | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 |
| h, м | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| $\sigma_{zq,i}$, кПа | 36,8 | 73,6 | 110,4 | 147,2 | 184 |
| ν | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| φ_{II} , ° | 29,9 | 29,9 | 29,9 | 29,9 | 29,9 |
| c_{II} , кПа | 1,864 | 1,864 | 1,864 | 1,864 | 1,864 |
| f, кПа | 10,9 | 20,0 | 29,1 | 38,1 | 47,2 |

$$F_d = \gamma_c + \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot (10,9 + 20,0 + 29,1 + 38,1 + 47,2) = 348,9 \text{ кН}$$

Розрахунок несучої здатності одиночної висячої палі після двох циклів замерзання-розмерзання наведений у таблиці 3.

Несуча здатність одиночної висячої палі у піску (2 цикл)

| Показник | № шару | | | | |
|------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| γ , кН/м ³ | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 |
| h, м | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| $\sigma_{zq,i}$, кПа | 36,8 | 73,6 | 110,4 | 147,2 | 184 |
| ν | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| φ_{II} , ° | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 29,8 |
| c_{II} , кПа | 1,728 | 1,728 | 1,728 | 1,728 | 1,728 |
| f, кПа | 10,8 | 19,8 | 28,8 | 37,9 | 46,9 |

$$F_d = \gamma_c + \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot (10,8 + 19,8 + 28,8 + 37,9 + 46,9) = 345,9 \text{ кН}$$

Розрахунок несучої здатності одиночної висячої палі після трьох циклів замерзання-розмерзання наведений у таблиці 4.

Несуча здатність одиночної висячої палі у піску (3 цикл)

| Показник | № шару |
|----------|--------|
|----------|--------|

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γ , кН/м ³ | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 |
| h, м | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| $\sigma_{zq,i}$, кПа | 36,8 | 73,6 | 110,4 | 147,2 | 184 |
| ν | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| φ_{II} , ° | 29,7 | 29,7 | 29,7 | 29,7 | 29,7 |
| c_{II} , кПа | 1,592 | 1,592 | 1,592 | 1,592 | 1,592 |
| f, кПа | 10,6 | 19,6 | 28,6 | 37,6 | 46,6 |

$$F_d = \gamma_c u \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot (10,6 + 19,6 + 28,6 + 37,6 + 46,6) = 343 \text{ кН}$$

Розрахунок несучої здатності одиночної висячої палі після чотирьох циклів замерзання-розмерзання наведений у таблиці 5.

Несуча здатність одиночної висячої палі у піску (4 цикл)

| Показник | № шару | | | | |
|------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| γ , кН/м ³ | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 |
| h, м | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| $\sigma_{zq,i}$, кПа | 36,8 | 73,6 | 110,4 | 147,2 | 184 |
| ν | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| φ_{II} , ° | 29,6 | 29,6 | 29,6 | 29,6 | 29,6 |
| c_{II} , кПа | 1,456 | 1,456 | 1,456 | 1,456 | 1,456 |
| f, кПа | 10,4 | 19,4 | 28,3 | 37,3 | 46,3 |

$$F_d = \gamma_c u \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot (10,4 + 19,4 + 28,3 + 37,3 + 46,3) = 340 \text{ кН}$$

Розрахунок несучої здатності одиночної висячої палі після п'яти циклів замерзання-розмерзання наведений у таблиці 6.

Несуча здатність одиночної висячої палі у піску (5 цикл)

| Показник | № шару | | | | |
|------------------------------|--------|------|-------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| γ , кН/м ³ | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 | 18,4 |
| h, м | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| $\sigma_{zq,i}$, кПа | 36,8 | 73,6 | 110,4 | 147,2 | 184 |
| ν | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| φ_{II} , ° | 29,5 | 29,5 | 29,5 | 29,5 | 29,5 |
| c_{II} , кПа | 1,32 | 1,32 | 1,32 | 1,32 | 1,32 |
| f, кПа | 10,2 | 19,2 | 28,1 | 37,0 | 45,9 |

$$F_d = \gamma_c \text{ и } \sum \gamma_{cf} f_i h_i = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot (10,2 + 19,2 + 28,1 + 37,0 + 45,9) = 337,1 \text{ кН}$$

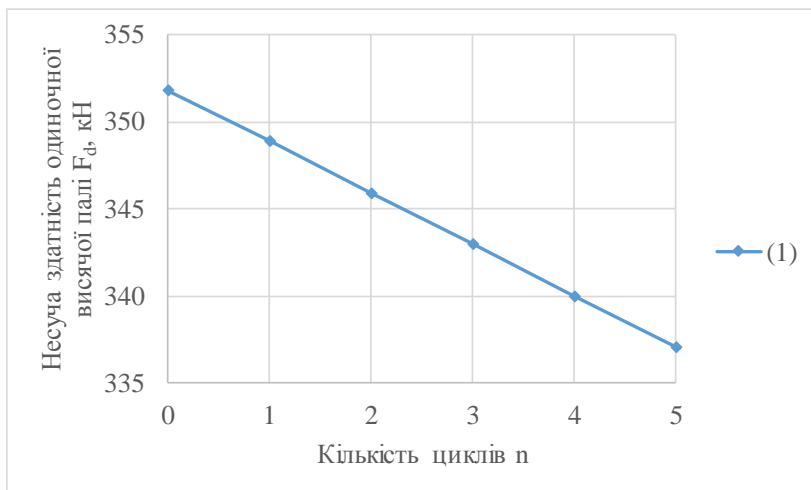


Рис. 1. Залежність несучої здатності одиночної висячої палі від кількості циклів замерзання-розмерзання у піску середньої крупності (1)

Після проведення п'яти циклів замерзання-розмерзання ґрунту основи несуча здатність одиночної висячої палі у піску середньої крупності зменшилася на 4,2%.

Аналогічні розрахунки проведені для суглинка та глини, результати досліджень подані на рис. 2, 3.

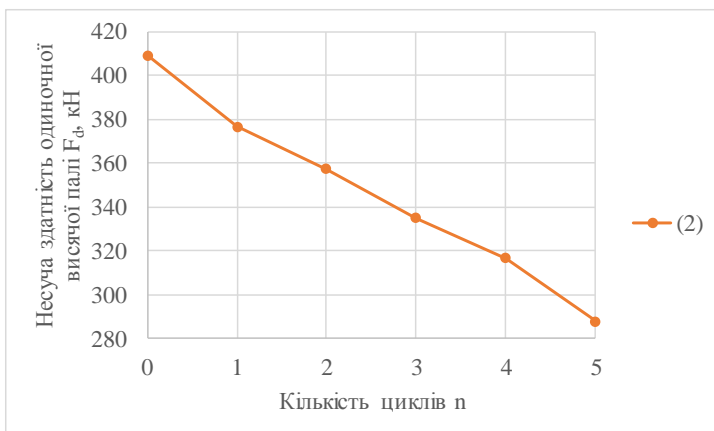


Рис. 2. Залежність несучої здатності одиночної висячої палі від кількості циклів замерзання-розмерзання у суглинку (2)

Після проведення п'яти циклів замерзання-розмерзання ґрунту основи несуча здатність одиночної висячої палі у суглинку зменшилася на 29,7%.

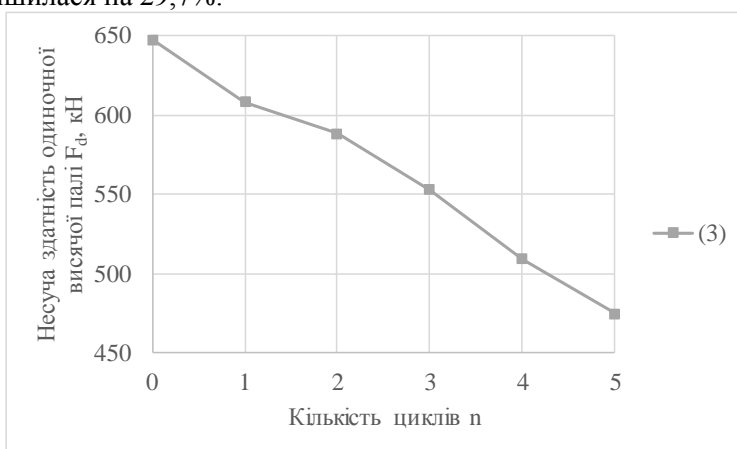


Рис. 3. Залежність несучої здатності одиночної висячої палі від кількості циклів замерзання-розмерзання у глині (3)

Після проведення п'яти циклів замерзання-розмерзання ґрунту основи несуча здатність одиночної висячої палі у глині зменшилася на 26,6%.

Проведена лінійна апроксимація графіків залежності несучої здатності одиночної висячої палі від кількості циклів замерзання–розмерзання для трьох типів ґрунтів – піску середньої крупності, суглинку і глини.

Несуча здатність одиночної висячої палі після n циклів замерзання–розмерзання ґрунтів основи може бути визначена за формулою:

$$F_{d,n} = F_{d,0} + a_n \cdot n \quad (4)$$

де $F_{d,0}$ – несуча здатність одиночної висячої палі для ґрунту без замороження, визначена за ДБН [2];

a_n - емпіричний коефіцієнт;

n – кількість циклів замерзання–розмерзання ґрунтів основи.

Таблиця 7

Результати апроксимації залежності несучої здатності одиночної висячої палі від кількості циклів замерзання–розмерзання

| Тип ґрунту | $F_{d,0}, \text{кН}$ | Емпіричний коефіцієнт a_n | Коефіцієнт кореляції r |
|------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Пісок | 351,8 | -2,95 | 0,999 |
| Суглинок | 409,2 | -23,1 | 0,993 |
| Глина | 647,3 | -34,1 | 0,992 |

Аналіз таблиці 7 показує високу достовірність результатів апроксимації залежності несучої здатності одиночної висячої палі після n циклів замерзання–розмерзання ґрунтів основи.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Дослідження впливу роботи теплового насосу на несучу здатність одиночної висячої палі та фундаменту загалом є актуальною науково-технічною проблемою з позиції забезпечення надійності споруд.

2. Після проведення п'яти циклів замерзання–розмерзання ґрунту основи несуча здатність одиночної висячої палі у піску середньої крупності зменшилася на 4,2% , у суглинок – на 29,7%, у глині – на 26,6%; при збільшенні кількості циклів замерзання–розмерзання можливе повне руйнування основи та фундаменту будівлі чи споруди.

3. Отримані розрахункові залежності для визначення несучої здатності одиночної висячої палі за властивостями ґрунтової основи у залежності від кількості циклів замерзання-розмерзання різних типів ґрунтів. Коефіцієнт кореляції апроксимованих залежностей не менший 0,992.

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

1. Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли : дис. докт. техн. наук : 05.23.03 / Васильев Григорий Петрович – Москва, 2006. – 432 с.

2. ДБН В.2.1-10–2009. Основи та фундаменти споруд. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.

3. Моркляник Б. В. Вплив колекторів теплових насосів на міцнісні та несучі характеристики основ та фундаментів при знакоперемінних температурах / Б. В. Моркляник, А. С. Фартушний, В. Г. Шаповал // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук : КрНУ, 2013. – Вип. 2 (12). – С. 188–195.

4. Моркляник Б. В. Вплив роботи колекторів теплових насосів на геомеханічну систему «ґрунтовий масив-надфундаментна споруда» / Б. В. Моркляник // Залізобетон минулого і майбутнього : матер. Всеукр. міжвуз. наук. семінару. – Львів, 14–15 травня 2015 р. – С. 49–53.

5. Моркляник Б. В. Закономерности изменения тепловой энергии в ґрунтовой основе при работе вертикального или плоского коллектора теплового насоса / Б. В. Моркляник // 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 ґрунтовой основе / Б. В. Моркляник // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – 2015. – № 2 (91). – С. 149–153.

7. Моркляник Б. В. Закономірності деформування геомеханічної системи «фундамент-ґрунтовий масив» в зоні дії колектора теплового насоса : дис. докт. техн. наук : 05.15.09 / Моркляник Богдан Васильович – Львів, 2015. – 349 с.

8. Моркляник Б. В. Методика розрахунку температурних полів,

обумовлених теплообміном між чотирма U-подібними колекторами теплового насоса необмеженої довжини та ґрунтовими основами / Б. В. Моркляник, А. С. Фартушний, В. Г. Шаповал // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне, 2014. – Вип. 28. – С. 436–441.

9. Моркляник Б. В. Моделювання деформацій основи, спричинених роботою ґрунтових теплових насосів / Б. В. Моркляник, А. С. Фартушний, Т. В. Рабочая // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук : КРНУ, 2014. – Вип. 2 (14). – С. 180–186.

10. Моркляник Б. В. Особенности расчета и проектирования оснований тепловых насосов / Б. В. Моркляник, В. Г. Шаповал, А. С. Фартушний // Будівельні конструкції. – К., 2013. – Вип. 77. – С. 265–269.

11. Моркляник Б. В. Температурное поле в основании плоского коллектора теплового насоса конечных размеров / Б. В. Моркляник, А. С. Фартушний, В. Г. Шаповал // Перспективы развития горного дела и подземного строительства : матер. V-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергетика. Экология. Человек» (конференция молодых ученых – аспирантов и магистрантов). – К., 2015. – С. 53–57.

12. Олейникова Е. Н. Исследование и оптимизация теплонасосных установок в структуре схем ПГУ-ТЭЦ : дис. канд. техн. наук : 05.14.14 / Олейникова Евгения Николаевна – Москва, 2015. – 164 с.

13. Ground-Source Heat Pumps in Cold Climates. [Електронний ресурс] / A report for the Denali Commission // Prepared by: Alaska Center for Energy and Power Cold Climate Housing Research Center. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.uaf.edu/files/acep/Ground-Source-Heat-Pumps-in-Cold-Climates.pdf>.

14. Morklyanyk B. Simulation of the Impact of Work of Heat Pumps on the Frost Heaving of the Base Soil / B. Morklyanyk, A. Fartushnyy // 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 / B. V. Morklyanyk // Academic Journal of Science. – 2013. – Vol. 02. – No. 01. – P. 283–288.

16. Protsenko P. Identification of additional strain of foundations during the work of the heating pumps / P. Protsenko, B. Morklyanyk // 5th International Conference of Young Scientists GAC-2013. – Lviv, 2013. – С. 156–157.

17. Protsenko P. The impact of heating pumps on soil foundation / P. Protsenko, B. Morklyanyk // 5th International Conference of Young Scientists GAC-2013. – Lviv, 2013. – С. 154–155.