

4. Gitkov, V.A., Kim K.V. (1982) Metodi operativnogo planirovaniya gruzovih avtomobilnih perevozok [Methods of the operational planning of road freight transport], Transport, Moscow, Russia.

5. Gavoronkov, E.P. (1978) Sovershenstvovanie dostavri stroitelnih gruzov avtomobilnim transportom [Improving the delivery of goods by road construction], Transport, Moscow, Russia.

6. Davidich, U.O. (2010) Rozrobka grafika ruhu transportnih zasobiv pri organizacii vantagnih perevezhen [Rozrobka grafika ruhu the agriculture zasobiv at organizatsii vantazhnih transported: navch. posibnik], HNAMEG, Kharkow, Ukraine.

7. Mariev, P.L. (2006) Karernii avtotransport stran SNG v XXI veke [Career vehicles CIS in the XXI century], Moscow, Russia.

8. Goriainov, O.M. (2009) Vantagni perevezennia [Freight transport], HNAMEG, Kharkow, Ukraine.

Стаття надійшла 26.12.2014.

УДК 624.15.001

### МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ОСНОВИ, СПРИЧИНЕНИХ РОБОТОЮ ГРУНТОВИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

**Б. В. Моркляник**

Львівська політехніка

вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

**А. С. Фартушний**

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49000, Україна.

E-mail: andrej\_fartuschnij@i.ua

**Т. В. Рабочая**

Одеська державна академія будівництва та архітектури

вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65000, Україна

З використанням теорії розмірностей встановлені деформації ґрунтових основ і фундаментів, в яких розташовані колектори ґрунтових теплових насосів, обумовлені замерзанням–відтаюванням порової рідини. Зроблено висновок про те, що значення цих деформацій мають один порядок з їх граничними значеннями, приведеними в українських нормативних документах.

**Ключові слова:** колектор, тепловий насос, деформації, теорія розмірностей, ґрунтові основи.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ РАБОТОЙ ГРУНТОВОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА

**Б. В. Моркляник**

Львовская политехника

ул. Степана Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина.

**А. С. Фартушний**

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49000, Украина.

E-mail: andrej\_fartuschnij@i.ua

**Т. В. Рабочая**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65000, Украина.

С использованием теории размерностей установлены деформации грунтовых оснований и фундаментов, в которых расположены коллекторы грунтовых тепловых насосов, обусловленные замерзанием–оттаиванием поровой жидкости. Сделан вывод о том, что значения этих деформаций имеют один порядок с их предельными значениями, указанными в украинских нормативных документах.

**Ключевые слова:** коллектор, тепловой насос, деформации, теория размерностей, грунтовые основания.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** При написанні цієї роботи переслідувалася мета визначити значення додаткових деформацій основи при морозному здиманні ґрунту, яке має місце при роботі теплових насосів в режимі опалення. Для цієї мети була використана теорія подібності [1].

Під час роботи теплових насосів (ТН) в режимі опалення відбувається охолодження основи, температура якого може приймати нульові і від’ємні значення [2-4]. Унаслідок цього має місце морозне здимання ґрунтової основи [5], яке призводить до додаткових переміщень розташованих на ній фундаментів і, як наслідок, зміни напружено–деформованого стану (НДС) системи «основа–фундамент–надфундаментних будова». Оскільки на даний рахунок у діючих в даний час нормативних документах [6] немає ніяких вказівок, нами були виконані дослідження, спрямовані на виявлення впливу обумовлених роботою ґрунтових ТН додаткових деформацій фундаментів.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** У ході експериментальних досліджень нами було розглянуто будівлю на суцільній фундаментній плиті, яка розташована на основі, де відбувається замерзання–відтаювання ґрунту, обумовлене роботою ґрунтового теплового насоса (рис. 1).

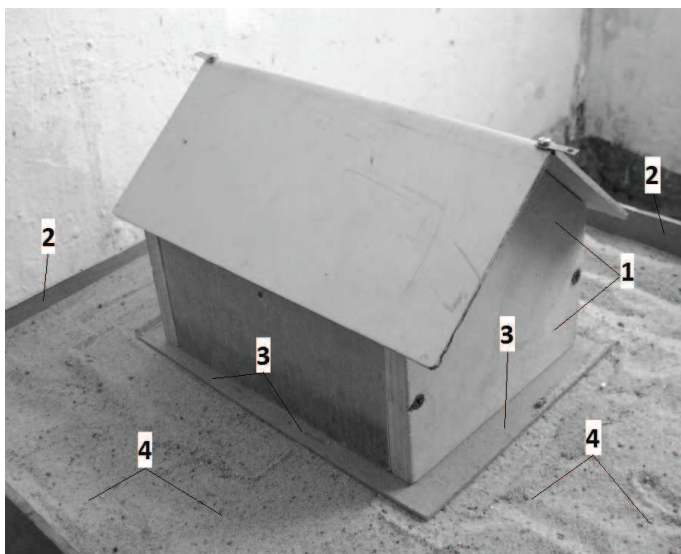


Рисунок 1 – Схема випробування:

- 1 – модель будівлі;
- 2 – ґрунтовий лоток;
- 3 – плитний фундамент;
- 4 – ґрунтова основа

Область основи, в якій відбувається замерзання-відтаювання парової рідини, моделювалася з використанням заповненої водою і ґрунтом еластичної ємності, стінки якої практично не чинять опір надмірному внутрішньому тиску (рис. 2).

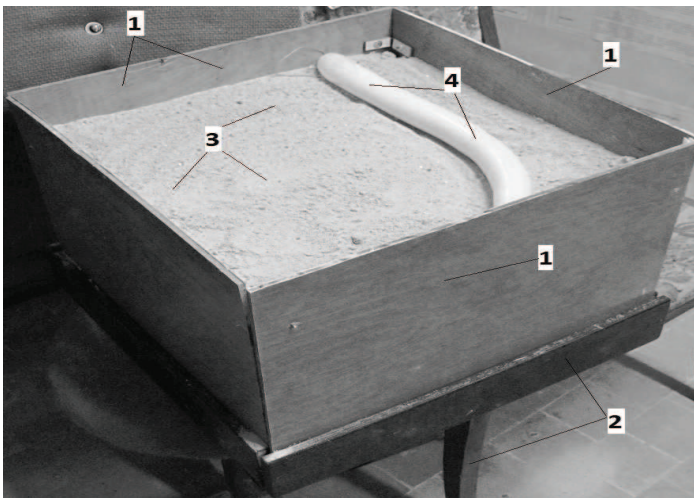


Рисунок 2 – Підготовка основи до випробування:

- 1 – ґрунтовий лоток;
- 2 – станина; 3 – ґрунтова основа;
- 4 – заповнена ґрунтом та водою гумова оболонка

Вертикальні переміщення моделі будівлі вимірювалися з використанням індикаторів переміщень годинникового типу, які кріпилися до спеціальної реперної системи (рис. 3). Схема ґрунтового лотка з розташованою на ґрунтовій основі будівлею приведена на рис. 4. Випробування виконувалися в ґрунтовому лотку з розмірами в плані 40x40 см і заввишки 30 см у такій послідовності:

1. Спочатку була виконана підготовка піщаної основи до позначки залягання підлоги замерзаючої і відтаваючої внаслідок роботи теплового насоса області (рис. 2).

2. Далі в основу укладалася заповнена ґрунтом і водою гумова оболонка зі стінками, які слабо чинять опір внутрішньому тиску (рис. 2).

3. Після цього основа нарощувалася до проектної позначки і на неї встановлювалася модель споруди, виконана з водостійкої фанери і полімерного композитного матеріалу (рис. 1).

4. Для вимірювання вертикальних переміщень моделі будівлі була використана спеціальна реперна система (рис. 3).

5. Далі експериментальна установка була поміщена в сухе середовище з температурою повітря  $t = -14$  °С. Замерзання води в гумовій ємності призвело до морозного здимання основи і, як наслідок, – вертикального переміщення точок «С» і «D», розташованих на фундаментній плиті моделі будівлі. Ці переміщення вимірювалися через сім діб після переміщення експериментальної установки в кліматичну камеру.

6. Після цього температура збільшувалася до значення  $t = +20$  °С; у такому стані споруда витримувалася протягом семи діб і знову вимірювалися вертикальні переміщення точок «С» і «D». У табл. 1 приведені властивості ґрунтової основи і деякі характерні розміри системи «основа–фундамент». У ході аналізу результатів експерименту нами були використані елементи теорії розмірностей [6]. Нами розглядалися безрозмірні  $\pi$ -комплекси виду:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot k_i \cdot h_i}{W} = \frac{\varepsilon_1 \cdot k_1 \cdot d_{\text{обл}}}{W}; \quad \pi_2 = \frac{d_{\text{обл}}}{b}; \\ \pi_3 = \frac{1}{b}; \quad \pi_4 = \frac{l_1}{b}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $\pi_1, \dots, \pi_4$  – безрозмірні  $\pi$ -комплекси;

$W$  – зумовлений замерзанням (відтаюванням) ґрунту підйом (осідання) основи;

$\varepsilon_i$  – відносна деформація  $i$  – того шару ґрунта, зумовлений замерзанням (відтаюванням) ґрунта;

$h_i$  – його товщина;

$k_i = 0,6, \dots, 0,8$  – коефіцієнт умов роботи;

$d_{\text{обл}}$  – ефективний діаметр замерзлої області ґрунта;

$l$  і  $b$  – відповідно довжина та ширина підшви фундаменту;

$l_1$  – відстань від підшви фундаменту до верху замерзлої області основи.

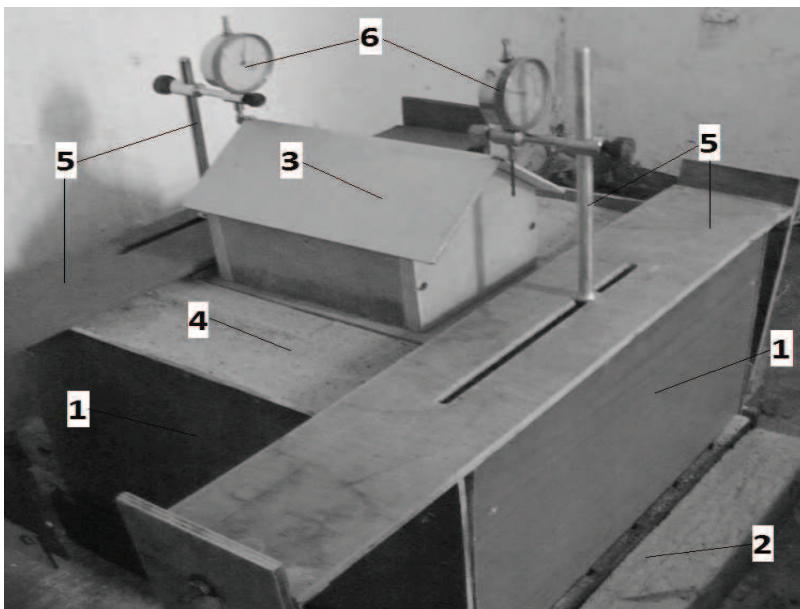


Рисунок 3 – Схема вимірювання переміщень:  
 1 – ґрунтовий лоток;  
 2 – станина;  
 3 – модель будівлі;  
 4 – ґрунтова основа;  
 5 – реперна система;  
 6 – індикатори переміщень годинникового типу

Таблиця 1– Властивості ґрунтової основи і деякі характерні розміри системи «основа–фундамент»

| Найменування характеристики                                  | Позн.     | Од. Вим.          | Значення |
|--|-----------|-------------------|----------|
| Модуль деформації основи                                     | $E$       | МПа               |          |
| Степінь вологості неводонасиченої області основи             | $S_r$     | д. од.            | 0,02     |
| Степінь вологості водонасиченої області основи               | $S_r$     | д. од.            | 0,99     |
| Довжина підосви фундаменту                                   | $l$       | м                 | 0,22     |
| Ширина підосви фундаменту                                    | $B$       | м                 | 0,18     |
| Діаметр замерзаючої (відтаваючої) області                    | $d_{обв}$ | м                 | 0,03     |
| Відстань від верху замерзаючої області до підосви фундаменту | $l_1$     | м                 | 0,04     |
| Підйом точки «С» при замерзанні                              | $S_{3,C}$ | $м \cdot 10^{-3}$ | 1,32     |
| Підйом точки фундаменту «D» при замерзанні                   | $S_{3,D}$ | $м \cdot 10^{-3}$ | 0,07     |
| Осідання точки фундаменту «С» при відтаванні                 | $S_{O,C}$ | $м \cdot 10^{-3}$ | 1,25     |
| Осідання точки фундаменту «D» при відтаванні                 | $S_{O,D}$ | $м \cdot 10^{-3}$ | 0,12     |

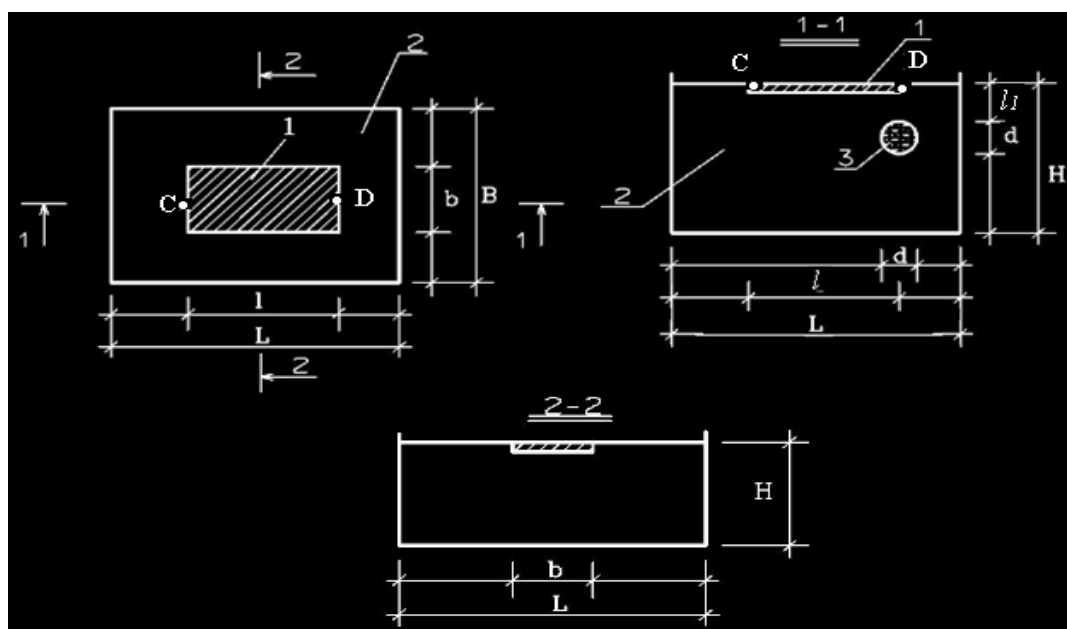


Рисунок 4 – Схема системи «ґрунтовий лоток-основа-фундамент»  
Примітка: На даній схемі відсутні розміри надфундаментної будівлі

Розраховані, з використанням наведених у табл. 1 даних,  $\pi$ -комплекси показані у табл. 2.

Таблиця 2– Значення  $\pi$ -комплексів

| Значення $\pi$ -комплексів |                |
|----------------------------|----------------|
| $\pi_1$                    | 0,90,...,34,32 |
| $\pi_2$                    | 0,17           |
| $\pi_3$                    | 1,22           |
| $\pi_4$                    | 0,22           |

Приведені у табл. 2 дані були використані нами для визначення деформацій, обумовлених замерзанням–відтаванням реальних ґрунтових основ. Для фундаментної плити шириною 7 м з урахуванням формул (1) і приведених у табл. 2 даних були розраховані деформації основи (табл. 3). Виявилось, що підйом і осідання основи в даному випадку змінюються в діапазоні від 3 до 138 мм.

Таблиця 3. Результати моделювання

| Найменування характеристики                                  | Розрахункова формула   | Одиниці вимірювання | Значення  |
|--|--|---------------------|-----------|
| Ширина підшви фундаменту                                     | –  | м                   | 7         |
| Довжина підшви   | $l = \pi_3 \cdot b$  | м                   | 8,54      |
| Діаметр замерзаючої області                                  | $d_{\text{обл}} = \pi_2 \cdot b$                                 | м                   | 1,19      |
| Відстань від поверхні замерзлого ґрунту до підшви фундаменту | $l_1 = \pi_4 \cdot b$  | м                   | 1,55      |
| Підйом (осідання) плитного фундаменту                        | $W = \frac{\varepsilon_1 \cdot k_1 \cdot d_{\text{обл}}}{\pi_1}$ | мм                  | 4,...,138 |

### ВИСНОВКИ.

1. Робота ґрунтових теплових насосів призводить до циклічного замерзання відтавання ґрунтових основ. Це, в свою чергу, призводить до підйому (при замерзанні порової рідини) та осідання (при відтаванні порової рідини), розташованих на цій основі фундаментів.

2. Обумовлені роботою ґрунтового теплового насоса підйом та осідання плитного фундаменту становлять 138 мм. Ці значення мають один порядок із граничними деформаціями ґрунтових основ [4, 5]. Тому деформації, обумовлені замерзанням–відтаванням порової рідини основи, в якій розташовані колектори ґрунтових теплових насосів, необхідно враховувати при проектуванні основ фундаментів будівель і споруд.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977. – 440с.
2. Посібник з проектування інженерних систем житлових і громадських будинків з тепловими насосами / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – Київ. 2010 – 82 с.

3. Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. Основи та фундаменти теплових насосів.- Львов: Сполом, 2009. – 64 с.
4. Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. Температурні поля в ґрунтових основах теплових насосів: монографія. – Дніпропетровськ: Пороги, 2011. – 123 с.
5. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко – Дніпропетровськ: «Пороги», 2014. – 231 с.
6. ДБН В.2.1–10–89. Основи та фундаменти споруд.

## SIMULATION OF DEFORMATION OF THE BASE, CAUSED BY WORK OF GROUND HEAT PUMP

### **B. Morklaynik**

Lviv Polytecnic

vul. Stepan Bandera 12, Lviv, 79013, Ukraine.

### **A. Fartushniy**

National Mining University

prosp. K. Marks 19, Dnipropetrovsk, 49000, Ukraine.

E-mail: andrej\_fartuschnij@i.ua

### **T. Rabochaja**

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

vul. Didrihsona 4, Odesa, 65000, Ukraine.

Freezing-thawing of pore fluid leads to deformation of the ground bases and foundations, which are located in the ground collectors heat pumps. Using the theory of dimensions deformations of ground bases and foundations are established. It is concluded that the values of these strains have the same order of their limit values specified in Ukrainian regulations.

**Key words:** collector, heat pump, deformation theory of dimensions, ground base.

## REFERENCES

1. Sedov, L.I. (1977), “Metodyi podobiya i razmernosti v mehanike” [Methods of similarity and dimensionality in mechanics], Moscow, Russia.
2. “Manual for the design of engineering systems of residential and public buildings with heat pumps”, Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine (2010), Kyiv, Ukraine.
3. Shapoval, V.G., Morkljanik, B.V. (2009) *Osnovaniya i fundamenti teplovyh nasosov* [Bases and foundations of heat pumps], Spolom, Lviv, Ukraine.
4. Shapoval, V.G., Morkljanik B.V., (2011) *Temperaturnye polja v osnovanijah teplovyh nasosov*, [Temperature fields in the grounds of heat pumps], Porogi, Dnipropetrovsk, Ukraine.
5. Shvec' V.B., Wojko I.P., Vinnikov Ju.L. et all (2014) “Soil Mechanics. Bases and Foundations, Educational book”, Porogi, Dnipropetrovsk, Ukraine.
6. DBN V.2.1–10–89. “Bases and foundations of buildings”.

Стаття надійшла 26.12.2014.