

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

МОРКЛЯНИК Богдан Васильович



УДК 624.13:624.15

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ГЕОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ
«ФУНДАМЕНТ–ГРУНТОВИЙ МАСИВ» В ЗОНІ ДІЇ КОЛЕКТОРА
ТЕПЛООВОГО НАСОСА**

Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірничча механіка»

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі мостів та будівельної механіки Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант доктор технічних наук, професор
Шашенко Олександр Миколайович,
завідувач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки
Державного вищого навчального закладу
«Національний гірничий університет»
Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
Круковська Вікторія Вікторівна,
старший науковий співробітник відділу механіки
гірських порід Інституту геотехнічної механіки
імені М. С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ);

доктор технічних наук, професор
Петренко Володимир Дмитрович,
завідувач кафедри тунелів, основ та фундаментів
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Міністерства освіти і науки України;

доктор технічних наук, професор
Головко Сергій Іванович,
професор кафедри основ і фундаментів
Придніпровської державної академії
будівництва та архітектури
Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Захист відбудеться “24” грудня 2015 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розіслано “24” листопада 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Залежність національної економіки від імпорتنих енергоресурсів змушує шукати нові шляхи зниження витрат на опалювання взимку і кондиціонування повітря влітку. У зв'язку з цим значний інтерес викликає інноваційна технологія, що базується на використанні, так званих, теплових насосів. Ця технологія вигідна хоча б з того погляду, що для вироблення тієї самої кількості тепла тепловий насос споживає в 2,5...4,5 разів електричної енергії менше, ніж будь-який інший електричний нагрівальний прилад.

Суть цієї технології полягає в тому, що в опалювальний період на обігрівання будівель і споруд витрачається низькопотенційне природне тепло ґрунтової товщі, а під час кондиціонування надлишок тепла не розсіюється в атмосфері, а відводиться в ґрунтову основу (якщо система працює в реверсному режимі, то накопичується теплова енергія).

Варто зазначити, що теплові насоси отримали значне поширення у бідних природними вуглеводневими ресурсами, але водночас промислово розвинених країнах (Австрія, Швеція, Японія), та, крім того, мають високу екологічну культуру. Останнє побічно свідчить про те, що під час використання теплових насосів, практично, не виникає проблем забруднення навколишнього середовища.

Колектори ґрунтових теплових насосів розміщують в основах, а також елементах будівель і споруд (зокрема в палях, фундаментах неглибокого залягання, підземних тунелях та ін.). Такі основи і фундаменти прийнято називати суміщеними.

Експлуатація ґрунтових теплових насосів призводить до підігрівання основ (якщо насос працює в режимі кондиціонування) або їх охолодження (якщо насос працює в режимі опалювання). Крім того, за наявності в основі підземних ґрунтових вод можливе їхнє заморожування, що призводить до морозного здирання та зміни фільтраційних властивостей ґрунтових основ (в інженерній практиці відомі методи облаштування протифільтраційних завіс шляхом їх заморожування). Також під час розміщення колекторів теплових насосів у залізобетонних елементах конструкцій, в яких, відповідно, виникають змінні температурні напруження.

У зв'язку з цим, вивчення чинників і встановлення закономірностей деформування геомеханічної системи «фундамент-ґрунтовий масив» в зоні дії колектора теплового насоса та розробка наукових принципів розрахунку її напружено-деформованого стану є актуальною науково-технічною проблемою для економіки України з позиції підвищення її ресурсо- та енергозбереження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в межах обласних програм з енергозбереження для населення та бюджетних установ і організацій у Львівській області та наукових програм Національного університету «Львівська політехніка», а саме: «Енергоощадні технології у будівництві» (№ держреєстрації 0114U005248), «Розробка та вдосконалення методів розрахунку конструкцій, мостів, будівель та споруд (№ держреєстрації 0114U005249) кафедри мостів та будівельної механіки.

Мета роботи – визначення закономірностей деформування геомеханічної системи «фундамент-грунтовий масив» у зоні дії колектора теплового насоса.

Об'єктом досліджень є температурні і силові поля, зумовлені роботою теплових насосів, які виникають у ґрунтових основах та розташованих у них елементах будівель і споруд.

Предметом досліджень є температурний і напружено-деформований стан (НДС) системи «колектор ґрунтового теплового насоса – ґрунтова основа – фундамент (або фундаменти) – надфундаментна споруда».

Відповідно до поставленої мети, сформульовані та вирішені такі **задачі досліджень**:

1) виявити особливості технології обігрівання приміщень і кондиціонування повітря з використанням ґрунтових теплових насосів та визначити додаткові навантаження і впливи на геомеханічну систему «фундамент-грунтовий масив»;

2) проаналізувати актуальні фізичні та математичні моделі, призначені для прогнозування температурних полів та напружено-деформованого стану ґрунтової основи в зоні дії теплового насоса і запропонувати такі, що адекватні геомеханічній системі, яка досліджується;

3) експериментальним шляхом дослідити залежність міцнісних та деформаційних властивостей водонасиченого ґрунту за знакозмінних температур;

4) розробити математичну модель геомеханічної системи «фундамент-грунтовий масив», яка дасть змогу під час розрахунку її деформацій врахувати вплив:

- температурних полів;
- фазових переходів порової рідини;
- особливостей розташування колектора ґрунтового теплового насоса в основі або фундаменті;

5) розробити методику визначення деформацій геомеханічної системи «фундамент-грунтовий масив» у зоні дії колектора теплового насоса» з урахуванням таких впливів, як:

- охолодження та нагрівання ґрунту;
- заморожування та розморожування ґрунту;

6) дослідити деформативність, міцність і тріщиностійкість елементів конструкцій фундаментів із композитних матеріалів за циклічного заморожування і розморожування;

7) розробити практичні рекомендації щодо визначення деформацій геомеханічної системи «фундамент-грунтовий масив» у зоні дії колектора теплового насоса.

Методи досліджень. Методологічною основою вирішення поставлених задач досліджень є комплексний підхід, що передбачає використання таких чинників:

1) аналізу та узагальнення літературних і статистичних даних щодо:

- перспективності використання ґрунтових теплових насосів в умовах різних регіонів України;

- сезонної зміни температурних полів у ґрунтовій основі в різних регіонах України;

- аналітичних та чисельних методів визначення температурних полів у ґрунтових основах та розташованих у них елементах будівель і споруд;

- аналітичних та чисельних методів визначення напружено-деформованого стану ґрунтових основ і влаштованих у них елементів будівель та споруд, зумовлених температурними полями та фазовими переходами порової рідини під час її заморожування-розморожування;

2) експериментальних досліджень під час визначення умов руйнування залізобетонних елементів з полімерними елементами колекторів теплових насосів, за рахунок різних значень коефіцієнтів температурного розширення бетону та полімерного матеріалу;

3) експериментальних досліджень для визначення умов руйнування залізобетонних елементів, у яких розташовані елементи колекторів теплових насосів під час заморожування–розморожування рідини, яка в них циркулює;

4) математичного моделювання температурних полів у породах, зумовлених роботою теплових насосів;

5) математичного моделювання для визначення зон заморожування порової рідини в породах, зумовлених роботою теплових насосів;

6) чисельного моделювання породних масивів для визначення їх НДС, зумовленого заморожуванням порової рідини в породах, унаслідок роботи теплових насосів;

7) чисельного моделювання НДС елементів будівель і споруд, розташованих у ґрунтових масивах, під час зміни температурного режиму, зумовленого роботою теплових насосів.

Основні наукові положення, що захищаються в роботі.

1. На території України залежність середньомісячної температури на денній поверхні основи від часу описується поліномом четвертого ступеня, що дає змогу урахувати зовнішнє температурне поле під час визначення напружено-деформованого стану ґрунту в зоні впливу колектора теплового насоса.

2. Розподіл температури в напівпросторі, зумовлений дією точкового джерела тепла і зовнішніх факторів, є нелінійною функцією координат, часу та теплофізичних властивостей гірської породи і, як наслідок, температура в довільній точці напівпростору прямо пропорційна інтенсивності джерела і зворотно пропорційна густині гірської породи, помноженій на її теплоємність, що дає змогу визначати температурне поле, зумовлене теплообміном між ґрунтом та колекторами теплових насосів складної форми.

3. Переміщення в напівпросторі, зумовлені фазовим переходом порової рідини в твердий стан під час заморожування і розморожування гірської породи в довільній її точці, є нелінійною функцією координат, коефіцієнта об'ємного розширення та деформаційних властивостей замерзлої та незамерзлої породи, що дає змогу на основі цього розраховувати деформації системи «фундамент-надфундаментна конструкція».

Наукова новизна отриманих результатів:

1) експериментально доведено, що:

– під час циклічного заморожування і розморожування елементів фундаментів із композитних матеріалів (тобто бетонних елементів фундаментів із замоноличеним фрагментом пластикового колектора теплового насоса) з'являються тріщини, а за певних умов – повністю руйнується бетон;

– під час заморожування циркулювальної рідини в елементах фундаментів із композитних матеріалів відбувається руйнування бетону;

2) вперше отримано аналітичне рішення задачі про визначення теплового поля в основі, зумовлене сезонними змінами температури на її поверхні.

3) вперше отримано аналітичне рішення задачі про визначення теплового поля в основі плоского теплового насоса.

4) вперше отримано аналітичне рішення задачі про розподіл температурних полів у ґрунтовій основі, зумовлених роботою точкового температурного джерела. Ці результати узагальнені на випадок плоского та U-подібного колектора ґрунтового теплового насоса;

5) вперше розроблена фізична модель, що дає змогу розрахувати температурні поля в основах теплових насосів під час врахування фазових переходів порової рідини (тобто її заморожування-розморожування).

6) вперше отримано рішення фундаментальної задачі про напружено-деформований стан ґрунтової основи від точкового джерела тиску.

7) розроблена модель основи, яка залежно від розташування колектора ґрунтового теплового насоса в основі або фундаменті дасть змогу врахувати у розрахунках на додаткові осідання основ фундаментів: температурні поля; заморожування; розморожування.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей деформування геомеханічної системи «фундамент-ґрунтовий масив» у зоні дії колектора теплового насоса та розробленні на підставі цього наукових принципів розрахунку їхнього напружено-деформованого стану.

Практичне значення роботи полягає у розробленні принципів розрахунку і проектування суміщених основ і фундаментів теплових насосів, зокрема:

1) запропоновано методику визначення теплових полів, зумовлених взаємодією колекторів ґрунтових теплових насосів і ґрунтових основ;

2) розроблено методику додаткових осідань основ, у яких розміщено колектори ґрунтових теплових насосів, зумовлених фазовими переходами в разі заморожування-розморожування ґрунту під час роботи теплових насосів, у межах схеми роздільного розрахунку;

3) запропоновано методику визначення несучої здатності ґрунту основи, в якій розміщено колектори теплових ґрунтових насосів, у межах схеми роздільного розрахунку;

4) розроблено методику визначення додаткових осідань основ, зумовлених фазовими переходами в разі заморожування-розморожування ґрунту під час роботи теплових насосів, а також деформацій і напружень, розміщених у ній конструкцій, у межах схеми сумісного розрахунку;

5) запропоновано методика визначення додаткових напружень, які виникають в елементах конструкцій фундаментів, що одночасно є несучими конструкціями споруди і колекторами теплових насосів;

6) розроблено практичні рекомендації із розрахунку і проектування основ і фундаментів, у яких розміщено колектори теплових ґрунтових насосів.

Обґрунтованість і ймовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: відповідністю розроблених теоретичних положень фундаментальним законам механіки суцільних середовищ, геотехнічної, гірничої механіки та механіки ґрунтів, достатнім обсягом достовірних експериментальних результатів отриманих під час випробування залізобетонних елементів конструкцій, високою збіжністю (близько 95 %) результатів прогнозування розрахунковим методом з фактичними результатами руйнування елементів залізобетонних фундаментів, суміщених з частинами колекторів теплових насосів.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень використано: під час розробки нормативних документів, які регламентують вимоги до проектування систем, що використовують низько потенційне тепло ґрунтів основи для опалення МІНРЕГІОНБУДом; під час проектування і будівництва житлових комплексів за адресою Львів, пл. Кн. Святослава, 5 та в Києві, вул. Маршала Рибалки, 3а; під час реалізації програм розвитку альтернативної енергетики й енергозбереження у Львівській області.

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно сформулював мету, ідею, завдання досліджень та наукові положення, розробив математичні моделі і методики досліджень, проаналізував результати натурних, лабораторних та чисельних експериментів, розробив та видав рекомендації щодо методик і принципів розрахунку та проектування суміщених основ та фундаментів теплових насосів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи викладено в доповідях і обговорено на: Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 50-річчю БашНИИСтроя (Уфа, 2006), Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених (Дніпропетровськ: НГУ, 2007), 5-й Міжнародній конференції молодих вчених ГАС (Львів, 2013), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2013), 9-й Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій» (Дніпропетровськ: НГУ, 2015), Міжнародній науково-технічній конференції «Энергетика. Экология. Человек» (Київ, 2013, 2015), Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений» (Донецьк, 2015), Всеукраїнського міжвузівського наукового семінару «Залізобетон минулого і майбутнього» (Львів, 2015).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 38 наукових працях, з яких 5 монографій, 22 статті у спеціалізованих фахових виданнях (з них 4 – в зарубіжних виданнях, 5 – в журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз), 7 тез та доповідей у збірниках матеріалів конференцій. 6 наукових праць опубліковано одноосібно.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 349 найменувань на 36 сторінках і 4 додатків на 6 сторінках. Містить 252 сторінки машинописного тексту, 160 рисунків і 55 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 291 сторінка.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета і задачі досліджень, сформульовані наукові положення, які виносяться на захист, висвітлено наукове і практичне значення отриманих результатів досліджень, показано особистий внесок автора та наведена інформація стосовно апробації та публікації результатів досліджень.

У першому розділі виконаний аналіз літературних джерел присвячених проблемі досліджень та розглянуті питання актуальності поставлених задач, сучасного стану розробок у сфері застосування теплових насосів у світі та Україні (рис. 1).

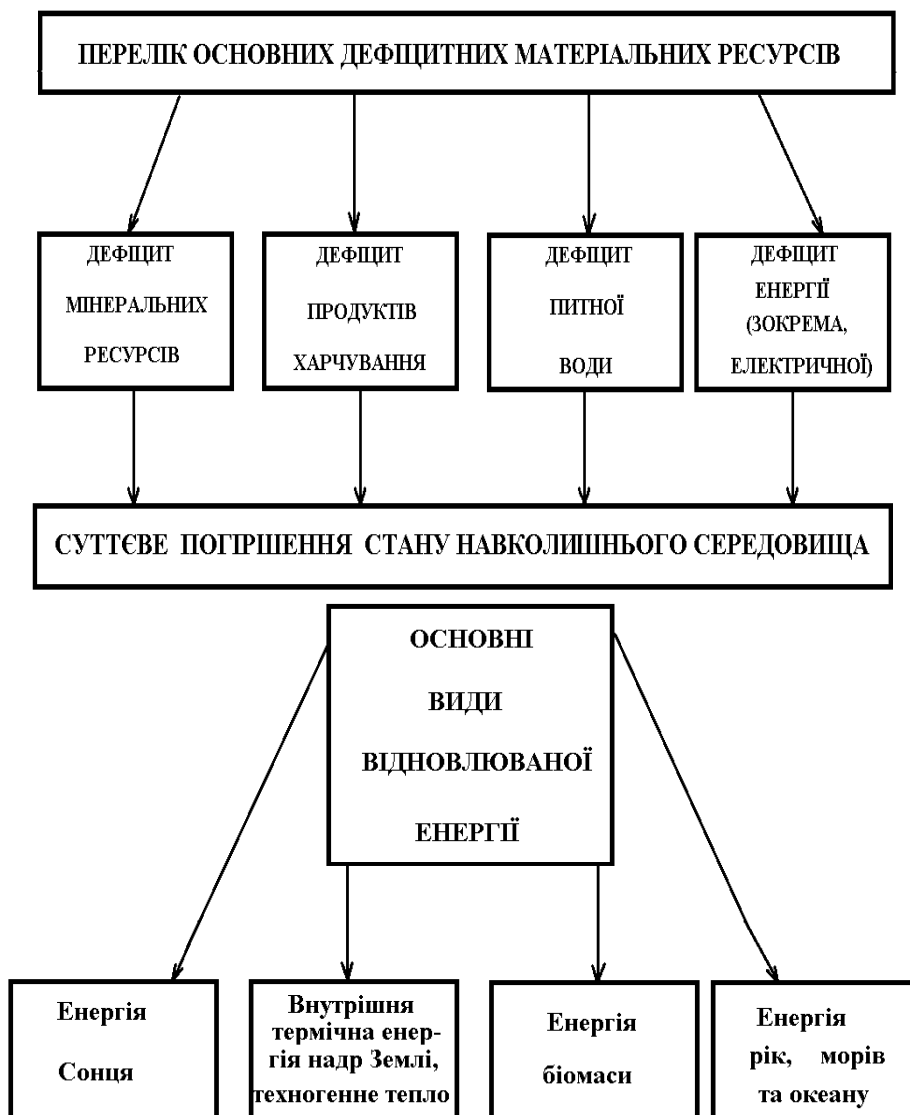


Рис. 1. Основні проблеми людства та шляхи їх вирішення

Зокрема було встановлено, що існує ефективна інноваційна технологія опалення будівель і споруд, підігрівання води з використанням теплових насосів. Ця технологія дає можливість економити невідновлювані джерела енергії (газ, нафту, вугілля тощо). В її основу покладено використання для потреб опалення і підігрівання води низькопотенційного тепла навколишнього середовища.

Зроблений висновок про те, що теплові насоси в умовах України є одним з найперспективніших способів використання поновлюваної енергії.

Вагомий внесок у вивчення, розроблення та впровадження в практику застосування теплових насосів зробили такі відомі закордонні дослідники, як Н. Brandl, О. Johansen, R. Katzenbach, В. Sanner, В. Usowicz, Ху Вей та ін. Вони, зокрема, розробили принципи розміщення колекторів теплових ґрунтових насосів в основах, фундаментах та підземних спорудах. Однак, у роботах цих авторів немає даних щодо температурного впливу на напружено-деформований стан основ та фундаментів. Тому представляють інтерес роботи М.Н. Гольдштейна, який одним із перших для вирішення проблем геомеханіки та механіки ґрунтів почав застосувати принципи термодинаміки.

Пізніше дослідження в цій галузі продовжили С.С. Вялов, О.М. Глобус, С.І. Головка, В.А. Корольов, В.В. Круковська, В.В. Лушников, О.Л. Невзоров, С.В. Нерпин, В.Д. Петренко, А.Б. Пономарьов, М.О. Цитовіч, О.Ф. Чудновский, О.М. Шашенко, В.Г. Шаповал, В.Б. Швець та ін.

Подальший аналіз літературних джерел було спрямовано на дослідження принципів функціонування теплових насосів та методів оцінювання ефективності їхньої роботи. Зокрема, було встановлено, що найбільш ефективним є застосування теплових насосів у реверсному режимі – взимку для потреб опалення, а влітку – для потреб кондиціонування.

У другому розділі розглянуті такі питання: визначено основні види колекторів ґрунтових теплових насосів; встановлено сучасні способи і варіанти розміщення колекторів теплових насосів у різних середовищах (рис. 2 і 3); з використанням асимптотичних оцінок виявлено механізми і рівняння тепломасопереносу та граничні і початкові умови, необхідні для розрахунку теплових полів у основах, в яких розташовані колектори теплових насосів; розглянуто механізми формування полів напружень і деформацій у ґрунтових основах, зумовлених температурними полями і об'ємними деформаціями, зумовленими заморожуванням порової рідини (тобто її фазовими переходами).

Були отримані наступні результати:

1. Визначено такі додаткові навантаження і впливи, обумовлені роботою теплових насосів:

- температурний вплив на основи та фундаменти;
- вплив, зумовлений заморожуванням-розморожуванням рідини, що заповнює пори ґрунту;
- вплив, зумовлений заморожуванням – розморожуванням рідини, що знаходиться в порожнинах фундаментів та підземних конструкцій, розташованих нижче рівня підземних вод.

2. Розглянуто та проаналізовано методи розрахунку температурних полів у ґрунтових основах. На цій підставі було визначено необхідні для виконання подальших досліджень рівняння тепло переносу, та граничні і початкові умови.

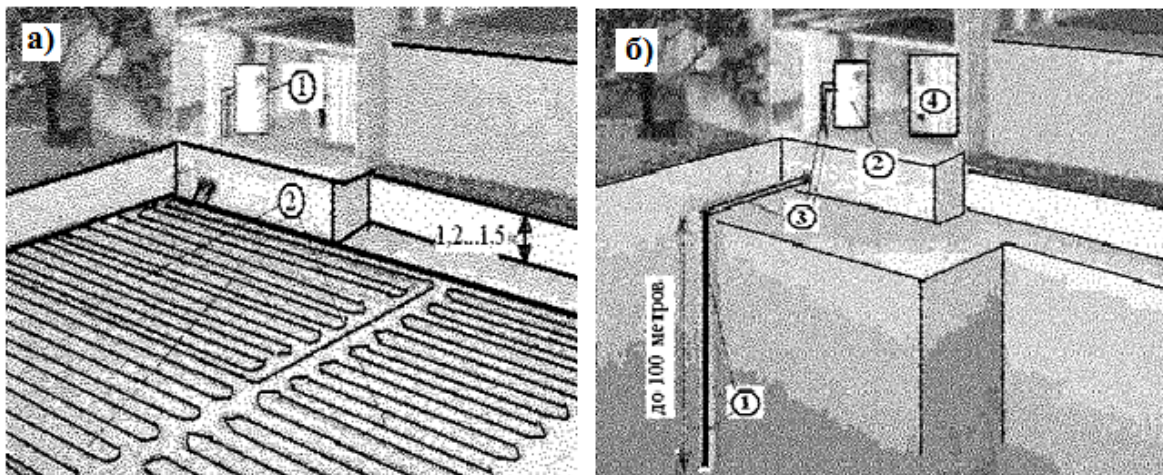


Рис. 2. Варіанти розміщення колекторів ґрунтових насосів в основі:
а – плоский колектор; б – U-подібний; 1 – колектор; 2 – тепловий насос;
3 – комунікації, що з'єднують ґрунтовий зонд з тепловим насосом; 4 – бак-накопичувач теплої води

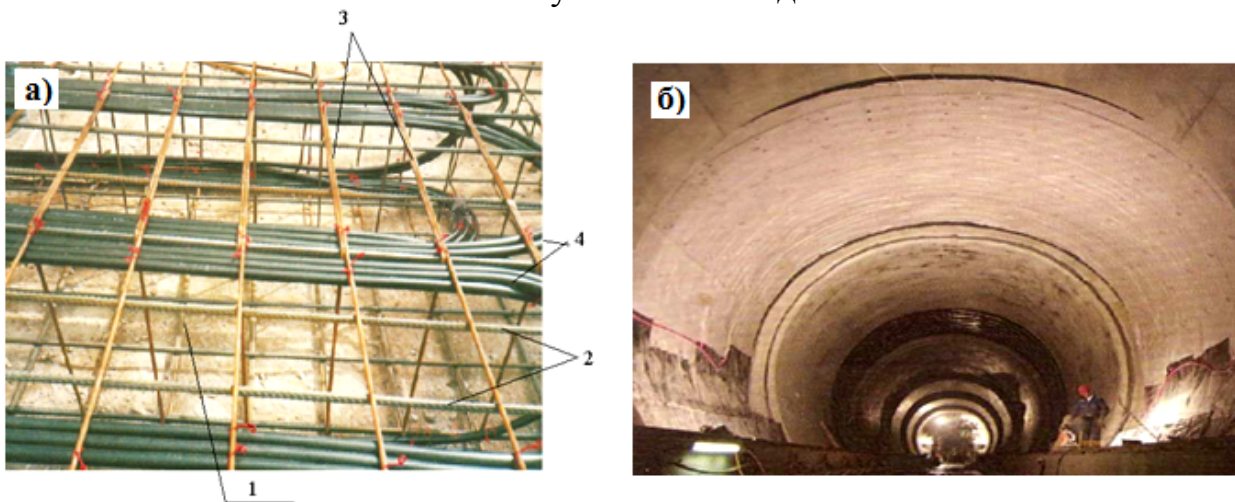


Рис. 3. Варіанти розміщення колекторів ґрунтових насосів в елементах будівель і споруд: а – плитний фундамент; б – тунель; 1 – просторовий арматурний каркас; 2, 3 – поздовжня і поперечна арматура; 4 – пластикові труби колектора теплового насоса

3. Розглянуто та проаналізовано сучасні методи розрахунку напружено-деформованого стану гірських порід, що дало можливість визначити необхідні для виконання подальших досліджень рівняння рівноваги та рівняння стану.

Загалом зроблено висновок, що для потреб проектування основ, фундаментів і надфундаментних конструкцій, в яких розташовані колектори теплових насосів необхідно вміти визначати температурні поля та поля напружень і переміщень в основах теплових насосів та їх трансформацію в просторі та часі.

У **третьому розділі** викладені матеріали досліджень, спрямованих на визначення експериментальних закономірностей сезонної зміни температури на

поверхні та всередині ґрунтової основи в різних областях України (рис. 4), а також експериментальні закономірності розподілу температури в основі джерела тепла циліндричної форми.

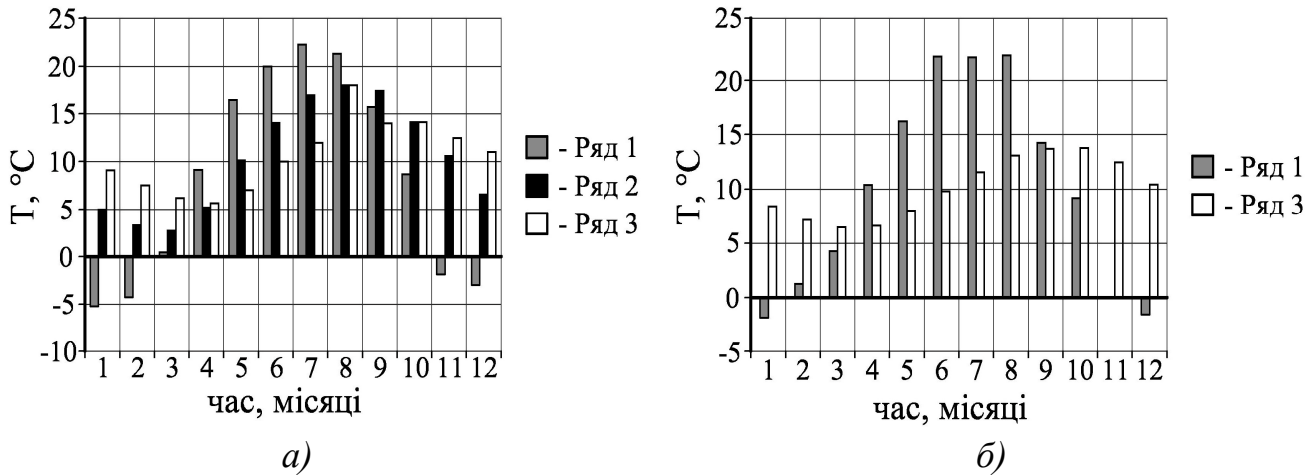


Рис. 4. Розподіл температур на поверхні основи (ряд 1); на глибині 1,6 м (ряд 2) та на глибині 3,2 м (ряд 3); *а* – в м. Дніпропетровську; *б* – в м. Львові

Були встановлено такі закономірності:

1. Залежності середньомісячної температури основи від пори року в різних обласних центрах України відрізняються один від одного.

2. Залежності середньомісячної температури всередині основи від часу в різних обласних центрах України та на різній глибині з достатньою ступенем точності можна описати поліномом четвертого ступеня, коефіцієнти якого для різних регіонів України набувають різних значень, тобто:

$$T = \left. \begin{array}{l} \sum_{i=0}^4 a_i \cdot t^i; \\ t \in (0,12) \end{array} \right\} \quad (1)$$

де T - температура основи на денній поверхні або всередині основи; t - час (його слід вимірювати в місяцях); a_i - емпіричні коефіцієнти, які залежать від глибини та розташування міста на території України.

3. Середньомісячна температура всередині основи на території України незалежно від пори року строго позитивна.

В четвертому розділі розглянуті експериментальні дослідження впливу знакозмінного заморожування – розморожування на властивості ґрунту і матеріалу будівельних конструкцій. При цьому було освітлено такі питання:

- вплив циклічного заморожування – розморожування на міцнісні та деформаційні властивості ґрунту та бетону, що знаходяться нижче рівня підземних вод;

- визначення несучої здатності моделі пальового фундаменту під час циклічного заморожування – розморожування ґрунту;

- вплив деформацій, зумовлених морозним здиманням, на деформації розташованих на ґрунтовій основі будівель і споруд.

При цьому був врахований той факт, що при замерзанні – розморожуванні ґрунт та бетон постійно знаходиться нижче рівня підземних вод. Тому на відміну від стандартного методу випробування ґрунтові зразки при заморожуванні – розморожуванні постійно знаходилися у воді. Випробовувався піщаний, суглинковий і глинистий ґрунт. Отримані для суглинку та глини залежності питомого зчеплення від кількості циклів заморожування – розморожування наведені на рис. 5, кута внутрішнього тертя на рис. 6, а модуля загальної деформації – на рис. 7

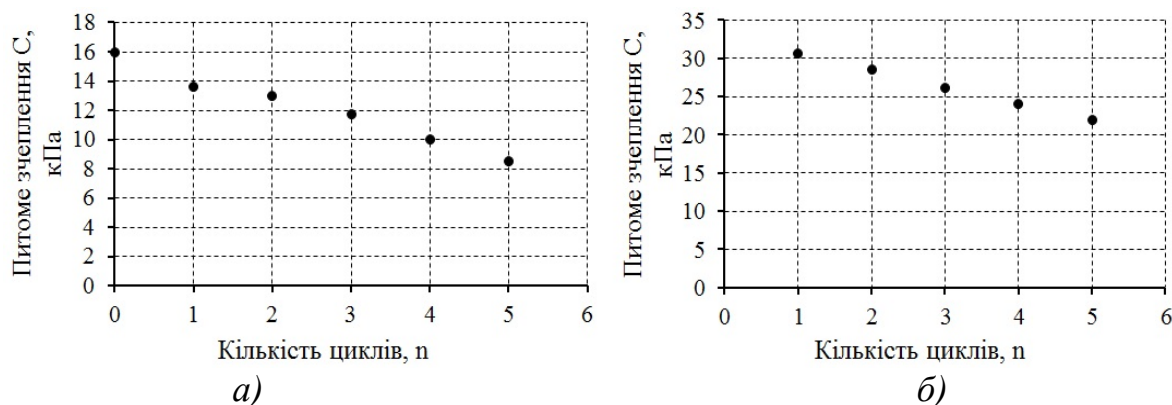


Рис. 5. Залежність питомого зчеплення суглинку (а) та глини (б) від кількості циклів заморожування-розморожування

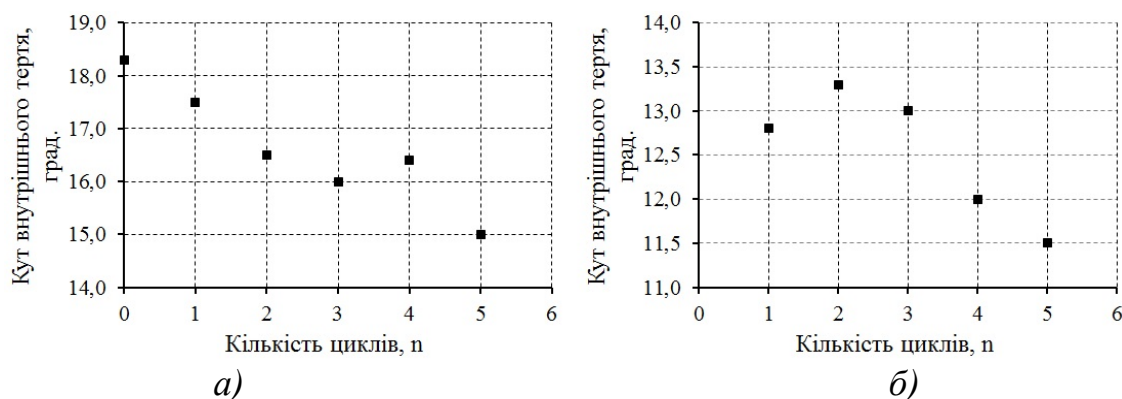


Рис. 6. Залежність кута внутрішнього тертя суглинку (а) та глини (б) від кількості циклів заморожування-розморожування

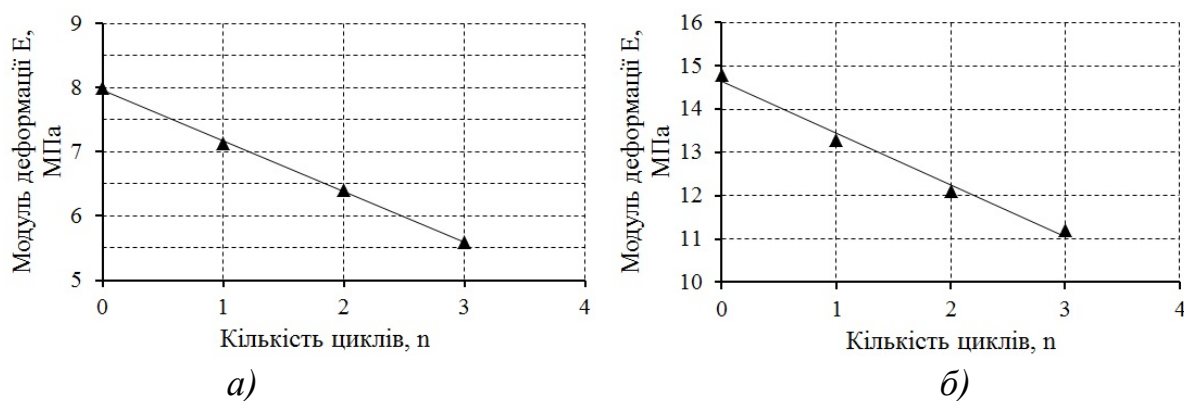


Рис. 7. Залежність модуля загальної деформації суглинку (а) та глини (б) від кількості циклів заморожування – розморожування

Було встановлено, що всі отримані нами експериментальні залежності властивостей ґрунту від кількості циклів заморожування – розморожування можуть бути апроксимовані залежністю

$$c, \varphi, E\} = a \cdot \exp(b \cdot n), \quad (2)$$

де a і b – емпіричні коефіцієнти (табл. 1).

Таблиця 1

Емпіричні коефіцієнти

Назва ґрунту	Назва характеристик	a	b , ч.од.	Коефіцієнт кореляції r
Пісок	c	2	-0,079	0,99
	φ	30,4	-0,006	0,99
	E	23,95	-0,02	0,58
Суглинок	c	15,98	-0,117	0,98
	φ	17,77	-0,031	0,88
	E	7,98	-0,122	0,99
Глина	c	33,69	-0,085	1,00
	φ	13,58	-0,028	0,96
	E	14,57	-0,082	0,95

Примітка. Для питомого зчеплення c та модуля деформації E коефіцієнт « a » має розмірність [кПа], а для кута внутрішнього тертя φ - [градуси]

В ході подальших експериментів було проведено дослідження для виявлення закономірностей впливу циклічного заморожування – розморожування на міцнісні і деформаційні властивості бетону для елементів фундаментів теплових насосів, у яких розташовані полімерні елементи їхніх колекторів. Змодельовані такі ситуації: поява тріщин у залізобетоні за циклічної зміни температури в пластиковому колекторі; поява тріщин у залізобетоні під час заморожування рідини в порожнинах конструкції та зниження експлуатаційних властивостей бетону при циклічному заморожуванні-розморожуванні. У всіх зразках після температурного впливу та аварійного заморожування було виявлено сліди руйнування (рис. 8).

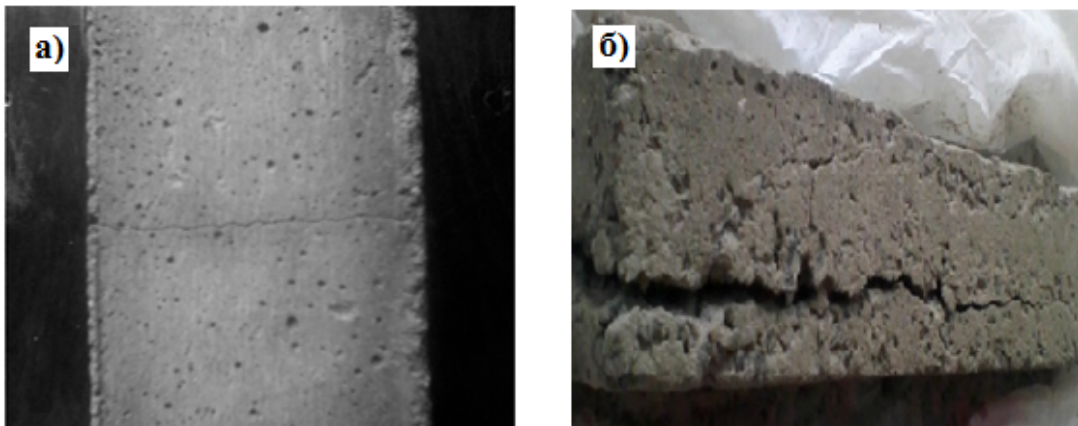


Рис. 8. Руйнування залізобетонних зразків: a – із композитного матеріалу; b – у випадку аварійного заморожування

Під час циклічного заморожування-розморозування бетону відбувається зниження всіх його експлуатаційних властивостей – нормативної міцності, розрахункової міцності на стиск і розтяг, класу бетону і модуля загальної деформації, при чому найшвидше знижується клас бетону і його розрахункова міцність на стиск, а найповільніше – його початковий модуль деформації (рис. 9).

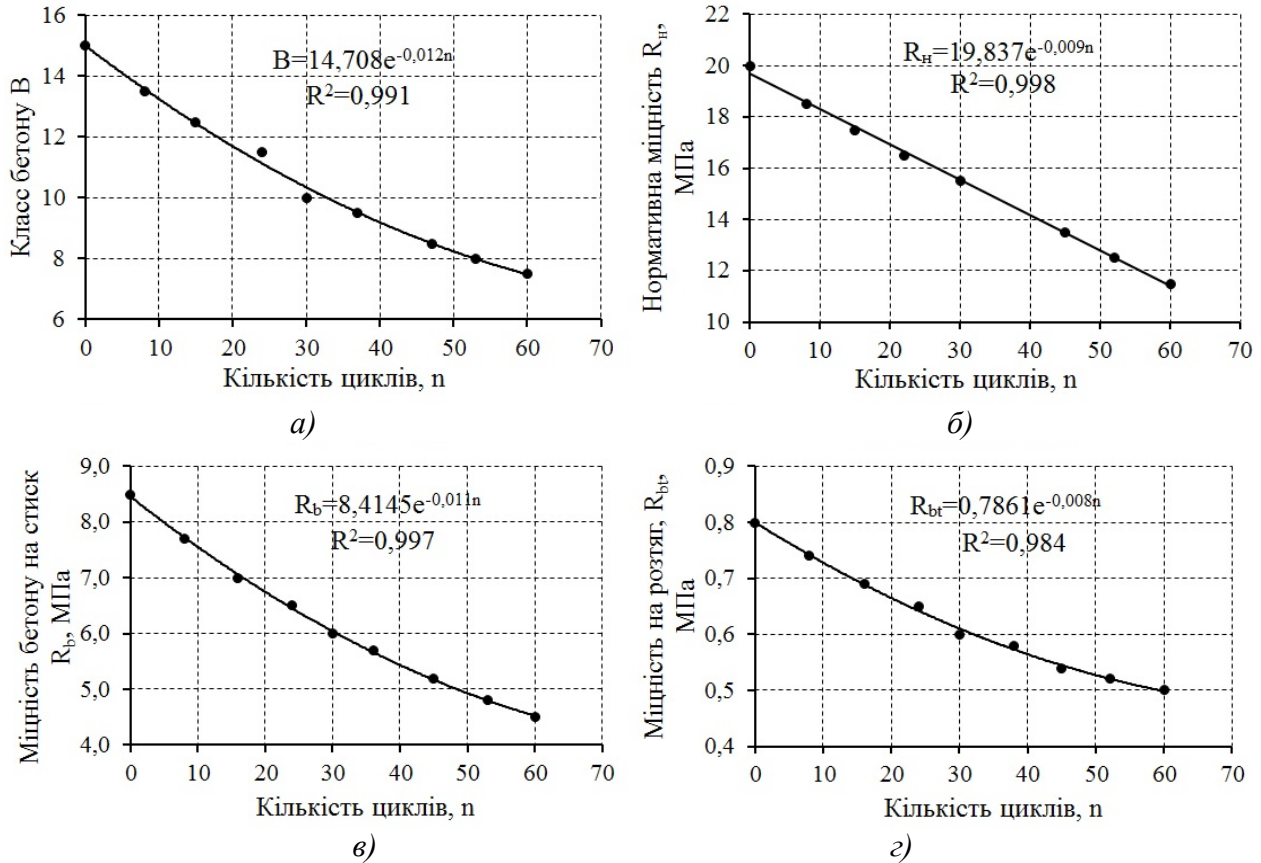


Рис. 9. Залежність властивостей бетону від кількості циклів його заморожування – розморозування: *а* – класу бетону; *б* – нормативної міцності; *в* – міцності на стиск; *г* – міцності на розрив

В ході подальших досліджень ставилася мета виявити, як циклічне заморожування – розморозування ґрунту впливає на несучу здатність моделей пальових фундаментів. Випробування виконувалися на глинистій пасті за методикою влаштування моделей, які вдавлювалися у ґрунт (рис. 10).

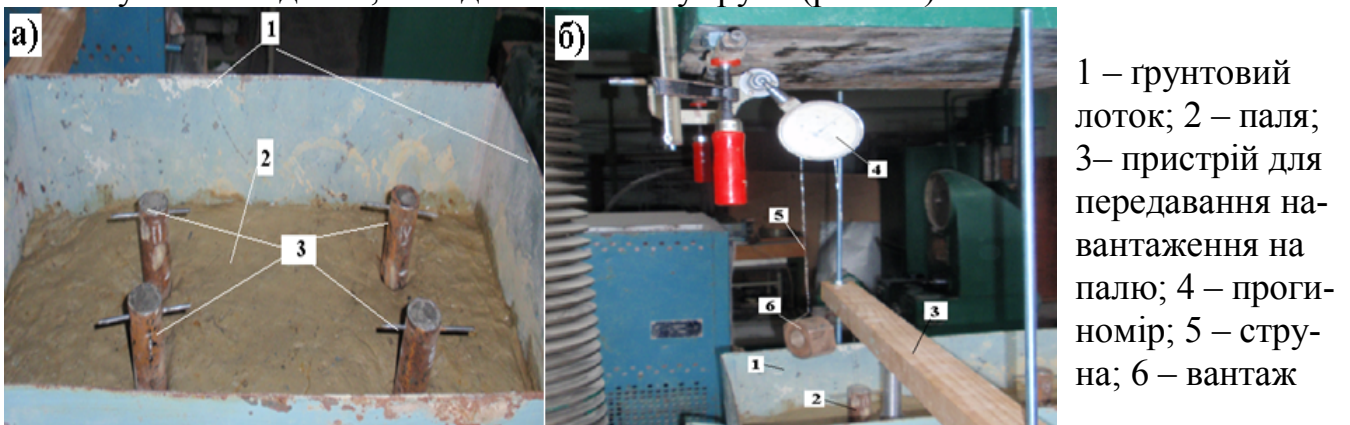


Рис. 10. Експериментальна установка: *а* – кассета з ґрунтом та палями; *б* – схема завантаження паль

Один цикл становив заморожування в морозильній камері касети з палями та ґрунтом 7 діб та розморожування на протязі 7 діб при кімнатній температурі. Результати досліджень наведено на рис. 11. Отримані дані дозволяють зробити висновок, що циклічне заморожування – розморожування ґрунту призводить до зниження несучої здатності моделей пальових фундаментів.

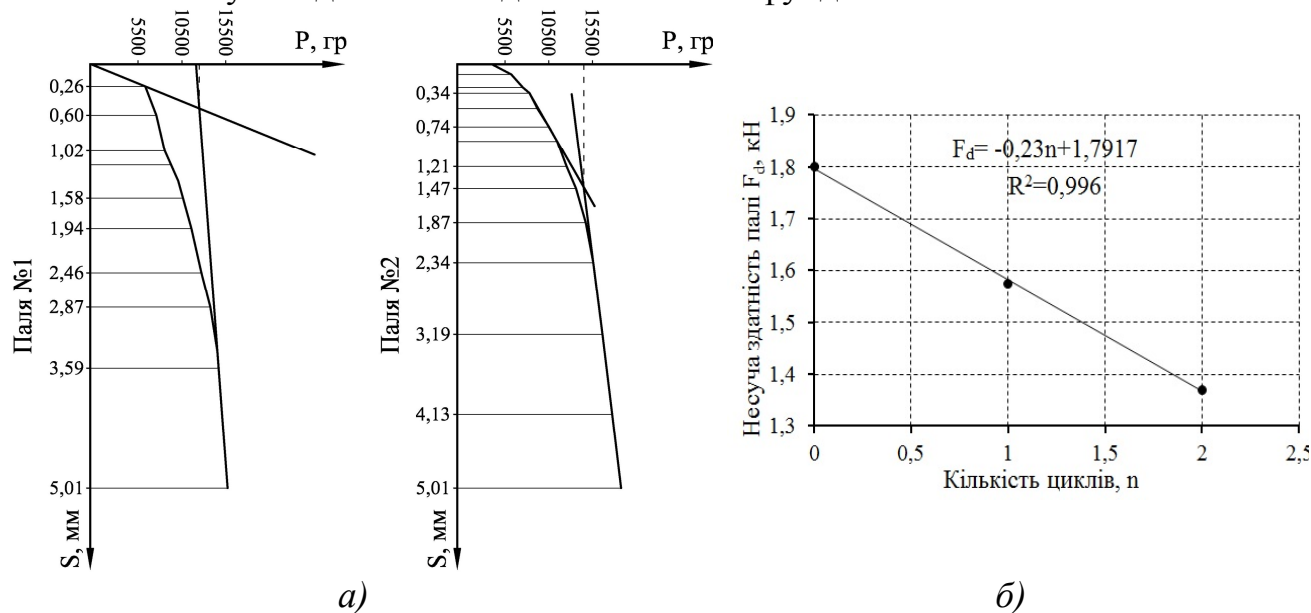


Рис. 11. Результати випробування моделей пальових фундаментів:
а – діаграми «осідання-навантаження» після другого циклу «заморожування-розморожування»; *б* – залежність несучої здатності палі F_d від кількості циклів «заморожування-відтаювання» n

На останньому етапі досліджень в ході лоткових експериментів нами моделювалася ситуація взаємодії розташованого на плитному фундаменті будинку з основою, в якій розташований плоский колектор ґрунтового насоса (рис. 12).

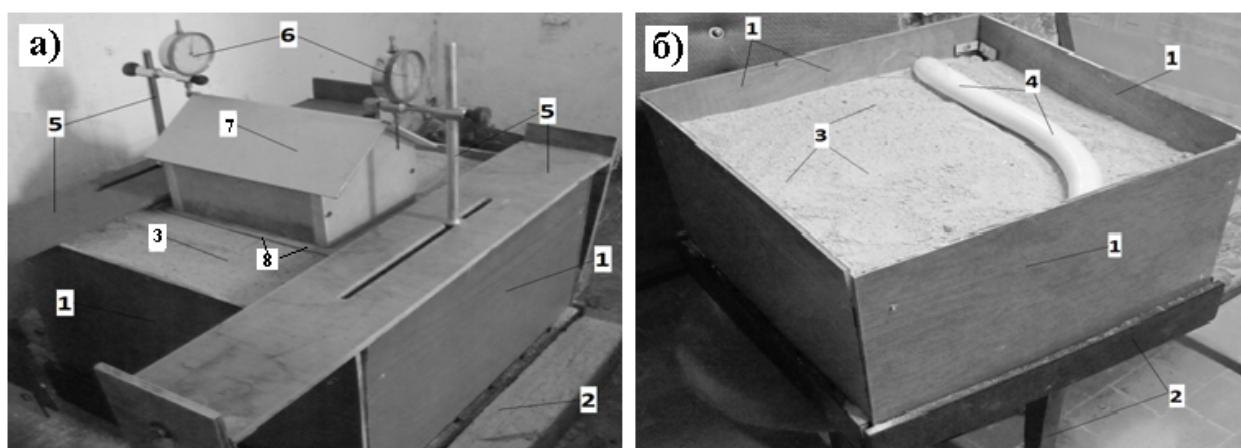


Рис. 12. Установа для визначення деформацій, обумовлених замерзанням водонасиченого ґрунту навколо плоского колектора: *а* – експериментальна установка; *б* – підготовка основи, 1 – ґрунтовий лоток; 2 – станина; 3 – будинок; 4 – ґрунтова основа; 5 – реперна система; 6 – індикатори переміщення годинникового типу

В якості основи використовувався пісок середньої крупності. Область мерзлого ґрунту моделювалась за допомогою заповненою водонасиченим піском резиною оболонкою. Масштабний фактор (тобто відповідність лоткових експериментів натурним даним) було враховано з використанням методів подібності і розмірностей (точніше, π -теореми). В якості π -комплексів були використані такі співвідношення:

$$\pi_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot k_i \cdot h_i}{W} = \frac{\varepsilon_1 \cdot k_1 \cdot d_{обл}}{W}; \quad \pi_2 = \frac{d_{обл}}{b}; \quad \pi_3 = \frac{l}{b}; \quad \pi_4 = \frac{l_1}{b}, \quad (3)$$

де π_1, \dots, π_4 – безрозмірні π – комплекси; W – зумовлений заморожуванням (розморожуванням) ґрунту піднімання (осідання) основи; ε_i – відносна деформація шару ґрунту, зумовлена його заморожуванням (розморожуванням); h_i – його товщина; $k_i = 0,6, \dots, 0,8$ – коефіцієнт умов роботи; $d_{обл}$ – ефективний діаметр замерзлої ділянки ґрунту; l і b – відповідно довжина і ширина подошви фундаменту; l_1 – відстань від подошви фундаменту до верху замерзлої ділянки основи. Було встановлено, що в даному випадку обумовлені замерзанням порової рідини деформації, близькі за значенням до граничних деформацій, зазначених у нормативних документах.

Загалом викладені в розділі матеріали досліджень впливу знакозмінного заморожування – розморожування дали змогу зробити такі висновки:

1) Найістотніше (до 30%) зменшуються питоме зчеплення і модуль загальної деформації ґрунту. Кут внутрішнього тертя змінюється незначно.

2) Циклічне заморожування – розморожування суттєво погіршує будівельні властивості бетону (міцність бетону на стиск R_b на 30 % і початковий модуль загальної деформації до 25 %).

3) Циклічне заморожування – розморожування істотно (до 25 %) зменшило несучу здатність моделей паль F_d .

5) Під час циклічного заморожування – розморожування погіршення властивостей ґрунту відбувається значно швидше, ніж для бетону.

6) Деформації морозного здимання, зумовлені теплообміном колекторів теплових насосів з ґрунтом, мають один порядок з деформаціями, спричиненими силовим впливом на ґрунт. Отже, під час проектування основ і фундаментів будівель і споруд необхідно їх враховувати.

У п'ятому розділі наведені матеріали теоретичних досліджень впливу на ґрунтову основу плоского та U – подібного колекторів теплових насосів. Дослідження викладені в такій послідовності: спочатку виявлені теоретичні закономірності сезонної зміни температури в ґрунтовій товщі; після цього було розраховане температурне поле від двовимірного (плоского) точкового джерела температури, розташованого усередині півпростору (фундаментальне рішення для визначення температурного поля в основі плоского колектора теплового насоса); далі було встановлене температурне поле від точкового об'ємного джерела тепла, розташованого усередині ґрунтової основи (фундаментальне рішення для

визначення температурних полів в основі U -подібного колектора); виконано аналіз розмірностей, отриманих нами фундаментальних рішень та наведені приклади їх використання для виконання завдань з визначення температурних полів у ґрунтових основах. В кінці розділу викладено рекомендований нами алгоритм врахування нелінійних ефектів при розв'язанні задач тепломасопереносу.

Для прогнозу температурних полів в ґрунтовій основі запропоновано використовувати рівняння, які описують кондуктивний механізм теплопередачі та граничні умови Діріхле, Неймана та Ньютона.

Задача про сезонний розподіл температур в ґрунтовій основі є одномірною; її рішення відрізняється від відомих (Карслоу Г., Єгер Д.) лише граничними умовами на денній поверхні, які мають вигляд (1).

В ході розв'язання задачі про точкове об'ємне джерело тепла всередині напівпростору розглядалася представлена на рис. 13 розрахункова схема.

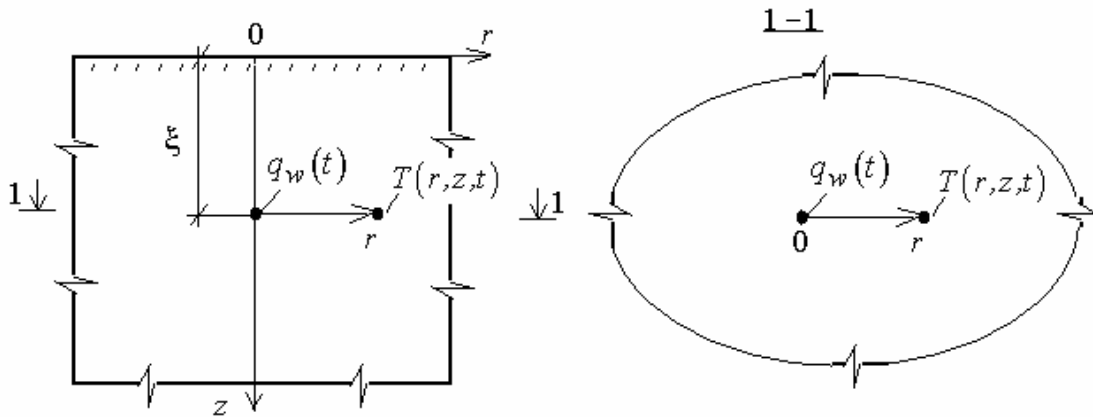


Рис. 13. Об'ємне точкове джерело тепла в середині півпростору. Розрахункова схема щодо визначення температурного поля

Цій схемі відповідають такі граничні та початкові умови:

$$\left. \begin{aligned} T(r, 0, t) = 0; \quad T(r, \infty, t) = 0; \quad T(\infty, z, t) = 0; \quad T(r, z, 0) = 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

та рівняння теплопереносу:

$$a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial T}{\partial t} = -q_w(t) \cdot \frac{\delta(r) \cdot \delta(z - \xi)}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \rho \cdot c_p} \quad (5)$$

де $q_w(t)$ – потужність точкового джерела тепла.

Рішення задачі отримано у вигляді (6). Отримане рішення (6) є фундаментальним для класу задач, спрямованих на визначення температурного поля в основі, в якій розташовано колектор теплового насосу довільної форми.

В ході застосування отриманих фундаментальних рішень вирішення практичних задач нами були розраховані температурні поля для плоского (рис. 14) та U – подібного (рис. 16) колекторів теплових насосів, розподіл яких наведено відповідно на рис. 15 і 17.

$$\left. \begin{aligned}
 T(r, z, t) &= \int_0^t k(t, \tau) \cdot f_0 \cdot (f_1 - f_2) \cdot d\tau; \quad f_0 = \exp\left[-\frac{r^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)}\right]; \\
 f_1 &= \exp\left[-\frac{(z - h)^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)}\right]; \quad f_2 = \exp\left[-\frac{(z + h)^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)}\right]; \\
 k(t, \tau) &= \frac{q_w(\tau)}{\rho \cdot c_p \cdot \sqrt{[\pi \cdot a \cdot (t - \tau)]^3}}.
 \end{aligned} \right\} (6)$$

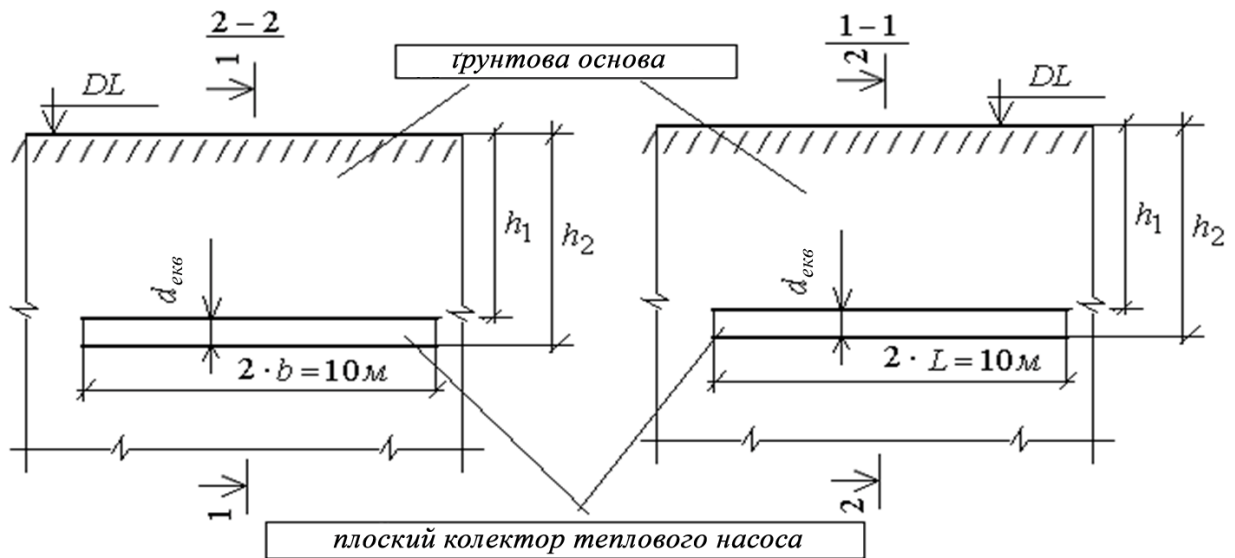


Рис. 14. До розрахунку температурного поля в основі плоского колектора.
Розрахункова схема

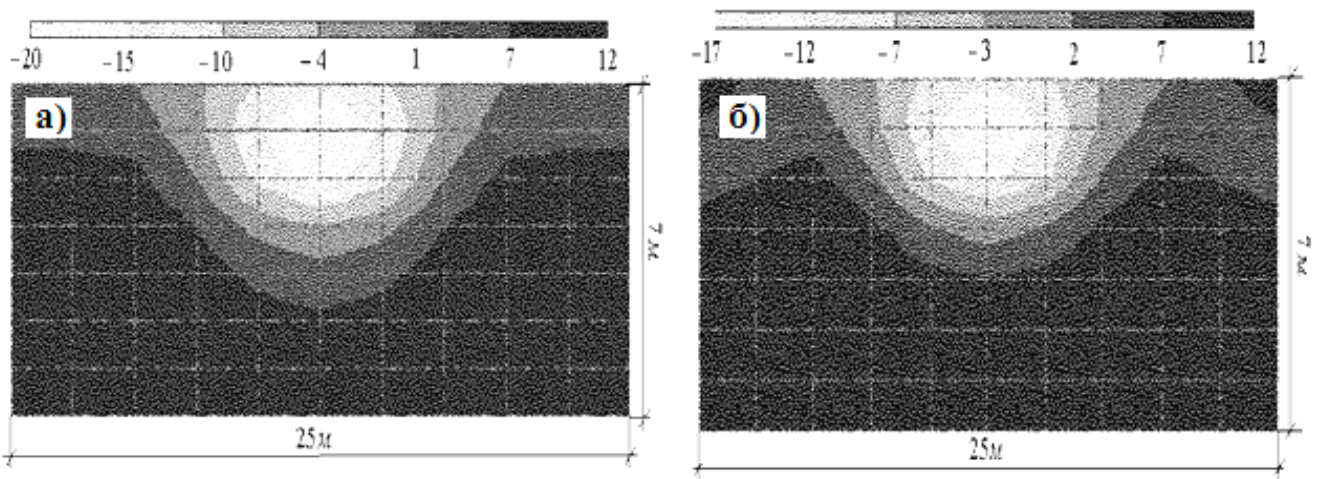


Рис. 15. Температурне поле в ґрунтовій основі плоского колектора:
а – шість місяців роботи насоса в режимі опалення; б – те саме, три місяці роботи в режимі кондиціонування і шість – в режимі опалення

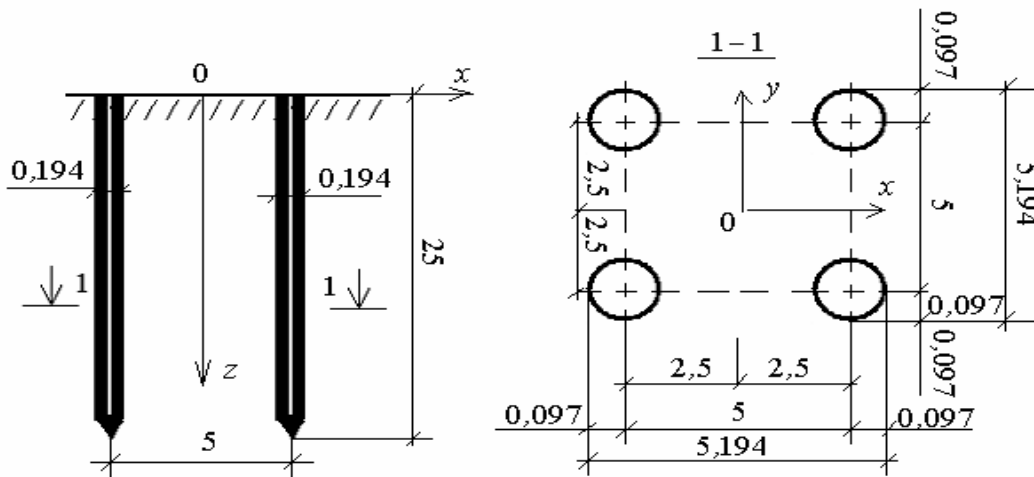


Рис. 16. Температурне поле в основі U -подібного колектора.
Розрахункова схема

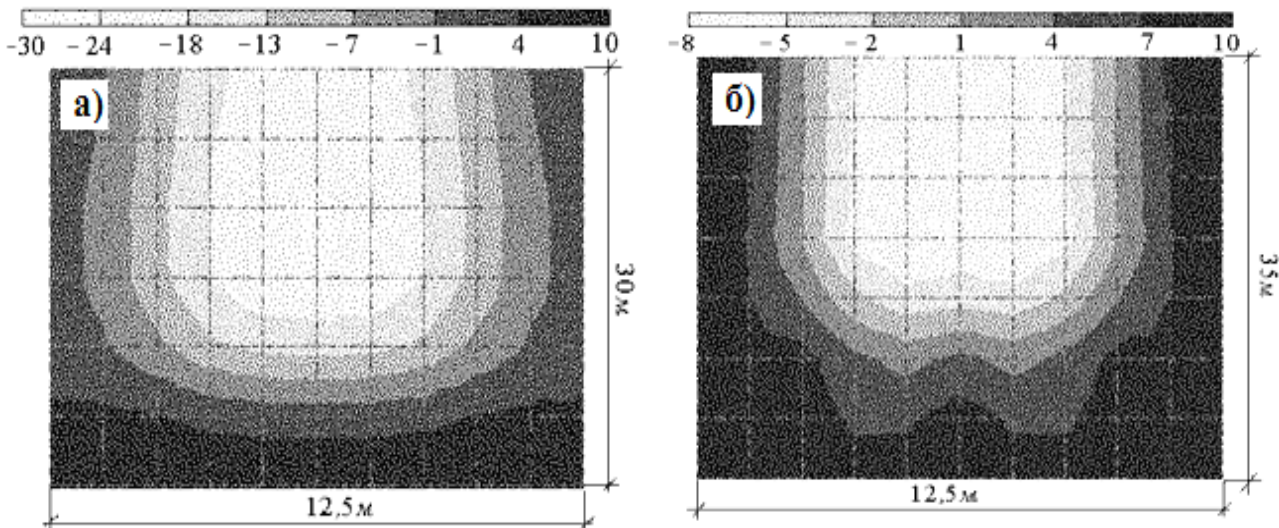


Рис. 17. Температурне поле в ґрунтовій основі:
a – шість місяців роботи насоса в режимі опалення; *б* – те саме, три місяці роботи в режимі кондиціонування і шість – в режимі опалення

Таким чином, зроблено висновок про те, що в такій постановці можна забезпечити достатню точність розрахунку температурних полів для основ, у яких не відбувається фазових переходів (тобто замерзання та танення) рідини в порах ґрунту. Для врахування нелінійних теплофізичних властивостей основи та врахування фазових переходів запропоновано використовувати комбінацію чисельних методів кінцевих різниць та процес ітерації Пікара.

У шостому розділі наведені теоретичні дослідження закономірностей деформування гірських порід, зумовлених їхнім заморожуванням-розморожуванням за рахунок теплообміну з колекторами теплових насосів. Зокрема, розглянуто сучасні методи визначення деформацій здимання ґрунту, зумовлених заморожуванням-розморожуванням основи за рахунок теплообміну з колекторами теплових насосів; визначено напружено-деформований стан пів-

простору, всередині якого розташоване точкове джерело тиску (фундаментальна задача); викладено методики і результати складання розрахункових таблиць та визначення деформацій здимування.

В ході розв'язання фундаментальної задачі розглянуто ґрунтову основу, в якій діє джерело тиску, зумовлене заморожуванням порової рідини (рис. 18).

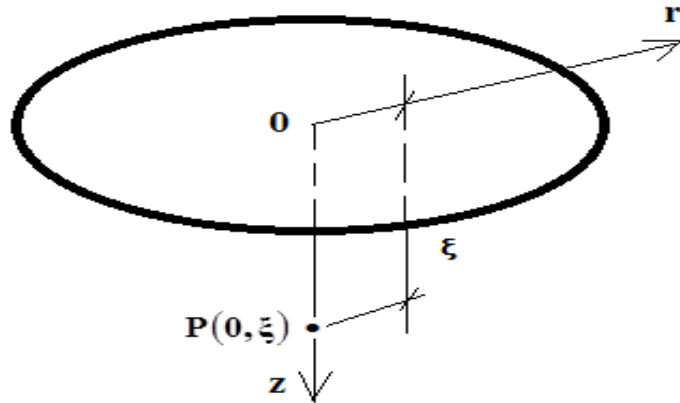


Рис. 18. Визначення НДС основи, зумовленого фазовими переходами

Тиск, зумовлений фазовим переходом порової рідини:

$$P(r, z) = \varepsilon_0 \cdot (3 \cdot \lambda_1 + 2 \cdot G_1) \cdot \frac{\delta(r)}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \delta(z - \xi), \quad (7)$$

де $P(r, z)$ – зовнішній тиск у розглянутій точці; ε_0 – об'ємна деформація основи, зумовлена заморожуванням порової рідини (має розмірність $[м^3]$); λ_1 та G_1 – пружні константи Ламі замерзлої ділянки основи; r та z – координати; ξ – глибина, на якій розташоване джерело тиску; $\delta(x)$ – дельта-функція Дірака.

Фундаментальне рішення для вертикального переміщення $W(r, z)$ для точкового джерела тиску (7) знайдено у вигляді:

$$W(r, z) = \frac{k}{4 \cdot \pi \cdot a_k} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{(z + \xi) \cdot (3 \cdot \lambda + 2 \cdot G)}{(\lambda + G) \cdot \left[(z + \xi)^2 + r^2 \right]^{\frac{3}{2}} + \frac{z - \xi}{\left[(z - \xi)^2 + r^2 \right]^{\frac{3}{2}}} - \right] \\ - 2 \cdot \frac{z \cdot \left[2 \cdot (z + \xi)^2 - r^2 \right]}{\left[(z + \xi)^2 + r^2 \right]^{\frac{5}{2}}} \right\}, \quad (8)$$

$$k = \varepsilon_0 \cdot (3 \cdot \lambda_1 + 2 \cdot G_1); \quad a_k = \lambda + 2 \cdot G; \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (9)$$

де ε_0 – об'ємна деформація основи, зумовлена заморожуванням порової рідини (має розмірність $[м^3]$); λ та G – пружні константи Ламе не замерзлої ділянки основи; a_k – модуль компресійного стиснення; r, x, y та z – координати; ξ – глибина, на якій розташоване джерело тиску.

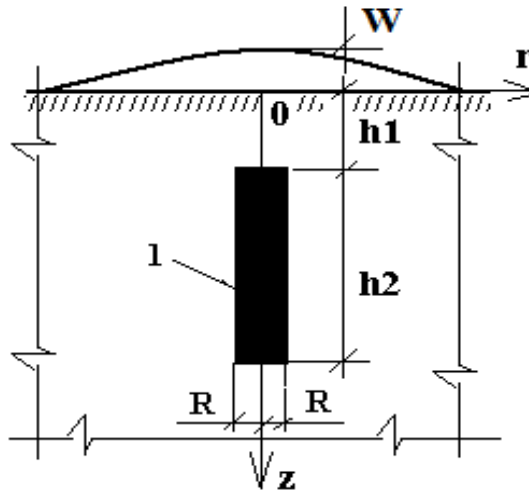


Рис. 19. Визначення величини підйому основи, в якому розташований колектор теплового насоса, внаслідок морозного здимання: 1 – зона мерзлого ґрунту

Для того, щоб визначити переміщення денної поверхні основи, необхідно в (8) прийняти:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_0 &= \varepsilon \cdot \rho \cdot d\rho \cdot d\varphi \cdot d\xi; \\ r &= r - \rho; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

і проінтегрувати отриманий таким чином вираз на інтервалах $\rho \in (0, R)$ і $z \in (h_1, h_2)$. Тут ε – відносна об'ємна деформація мерзлого ґрунту (змінюється від 1% до 10%). Ці інтеграли мають громіздкий вигляд, тому на рис. 20 наведені результати чисельного експерименту, виконаного для таких значень параметрів: модуль деформації основи $E = 10$ МПа; те саме, мерзлого ґрунту 10000 МПа; коефіцієнт Пуассона основи (зокрема мерзлого); $\nu = \nu_1 = 0,35$; $\varepsilon = 3$ %; $R = 15$ см.

З рис. 20, зокрема, впливає - чим більше довжина льодогрунтового циліндра, тим більше величина підйому денної поверхні основи і радіус його поширення.

Запропоновано методику визначення деформацій, зумовлених заморожуванням частини ґрунту для точки денної поверхні, що розташована над центром замерзлої ділянки.

У сьомому розділі викладено методику та приклади визначення напружено-деформованого стану геомеханічної системи «фундамент – ґрунтовий масив» у зоні дії колектора теплового насоса, а також матеріали впровадження результатів досліджень у практику. Суть методики, що рекомендується полягає в наступному:

1. Розрахунок НДС потрібно виконувати на основі першої та другої групи граничних станів. Необхідно розглядати найневигідніший випадок.

2. Розрахунок НДС основ і фундаментів обов'язково повинен передувати розрахунок на вплив температурних полів, зумовлених роботою теплових насосів, а також визначення зон замерзання і розмерзання.

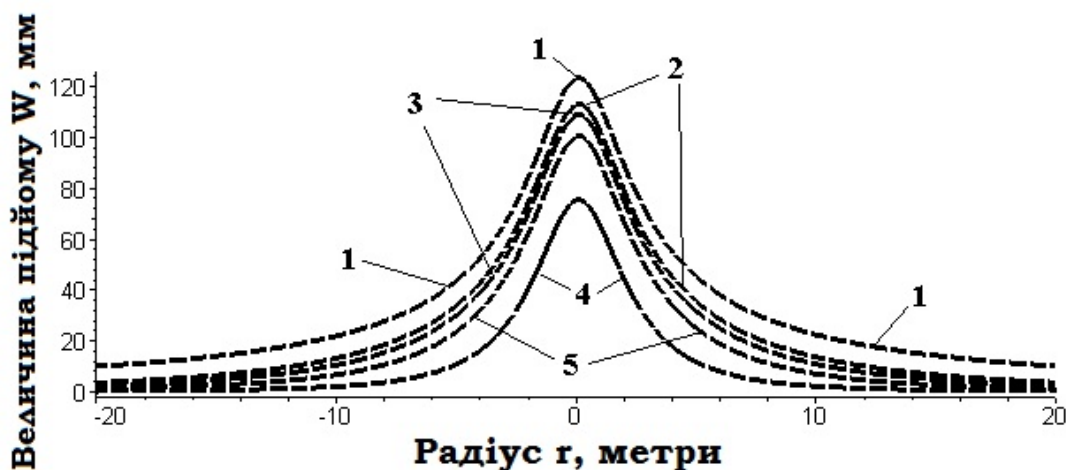


Рис. 20. Залежність підйому денної поверхні основи W від радіуса r :
 1 – довжина льодогрунтового циліндра $h_2 = 100$ м; 2 – те ж саме, $h_2 = 20$ м;
 3 – те ж саме, $h_2 = 15$ м; 4 – те ж саме, $h_2 = 10$ м; 5 – те ж саме, $h_2 = 5$ м.

Примітки: 1) відстань від верху льодогрунтового циліндра до денної поверхні основи $h_1 = 2$ м; 2) цей рисунок потрібно читати разом з рис. 19.

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

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

$$F \leq F_u, \quad (10)$$

де F – навантаження, яке діє на основу чи фундамент, а F_u – її граничне значення;

4.1. За розрахункові треба приймати розрахункові характеристики ґрунту, визначені у інтервалі імовірності $\alpha = 0,95$.

4.2. Визначення міцнісних характеристик ґрунту необхідно проводити з урахуванням їх зниження під час розморожування ґрунту.

Знижувальний коефіцієнт для питомого зчеплення треба приймати таким, що дорівнює 0,7; а для кута внутрішнього тертя – 0,9.

Для споруд високого класу відповідальності ці характеристики треба визначати експериментально;

4.3. Під час визначення несучої здатності висячих паль F_d необхідно враховувати суттєве зниження їх несучої здатності по бічній поверхні під час заморожування – розморожування ґрунту. Для цього потрібно використовувати формулу:

$$F_d = k_d \cdot F_d^{\text{дбн}}, \quad (11)$$

де $F_d^{дбн}$ – несуча здатність палі, визначена за рекомендацією ДБН, а k_d – експериментальний коефіцієнт зниження несучої здатності палі.

5. Під час розрахунків за другою групою граничних станів необхідно виконати умову:

$$S \leq S_u, \quad (12)$$

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

5.1. Треба розрізняти осідання, зумовлені силовими впливами S_c , морозним здиманням ґрунту (підніманням) S_n і осідання, зумовлені розморожуванням ґрунту (опусканням) S_o .

5.2. Як розрахункову необхідно приймати найбільшу з осідань:

$$S = S_c + S_n \text{ або } S = S_c + S_o. \quad (13)$$

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

5.4. Осідання S_o необхідно визначати за формулою (рис. 21):

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot (\alpha_{0,i-1} + \alpha_{0,i-1}) \cdot h_i, \quad (14)$$

де β – безрозмірний коефіцієнт, що дорівнює $\beta_i = \frac{\varepsilon_{0,i} \cdot (1 - 2 \cdot \nu_i) (3 \cdot \lambda_{m,i} + 2 \cdot G_{m,i})}{\lambda_i + 2 \cdot G_i}$;

$\varepsilon_{0,i}$ – деформація, зумовлена заморожуванням ґрунтової основи в i -му шарі ґрунту на вертикалі, що проходить через центр підшви фундаменту;

$G_i = \frac{E_i}{2 \cdot (1 + \nu_i)}$ та $\lambda_i = \frac{\nu_i \cdot E_i}{(1 - 2\nu_i)(1 + \nu_i)}$ – константи Ламе i -го шару ґрунту у незамерзлому стані;

$G_{i,m} = \frac{E_{i,m}}{2 \cdot (1 + \nu_{i,m})}$ та $\lambda_{i,m} = \frac{\nu_{i,m} \cdot E_{i,m}}{(1 - 2\nu_{i,m})(1 + \nu_{i,m})}$ – константи Ламе i -го шару ґрунту у незамерзлому стані;

E_i – модуль загальної деформації i -го шару ґрунту в незамерзлому стані;

$E_{i,m}$ – модуль загальної деформації i -го шару ґрунту в замерзлому стані;

$E_{i,m}$ – модуль загальної деформації i -го шару ґрунту в замерзлому стані;

ν_i – коефіцієнт Пуассона i -го шару ґрунту в незамерзлому стані;

$\nu_{i,m}$ – коефіцієнт Пуассона i -го шару ґрунту в замерзлому стані;

h_i – товщина i -го шару ґрунту, приймають не більше від 0,4 ширини фундаменту;

n – кількість шарів, на які розділена товща основи, що стискається;

α_0 – безрозмірний коефіцієнт, який необхідно приймати згідно з табл. 2.

Коефіцієнти α_0

Відносна глибина $\xi = \frac{2 \cdot z}{b}$	Коефіцієнти α_0 у разі відношення довжини завантаженої ділянки L до її ширини b , дорівнює $\eta = \frac{L}{b}$:						
	$\eta=1$	$\eta=1,4$	$\eta=1,8$	$\eta=2,4$	$\eta=3,2$	$\eta=5,0$	$\eta=10,0$
0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,400	0,662	0,702	0,722	0,737	0,746	0,753	0,757
0,800	0,418	0,475	0,506	0,531	0,546	0,561	0,568
1,200	0,269	0,323	0,358	0,388	0,409	0,428	0,439
1,600	0,181	0,227	0,259	0,291	0,314	0,337	0,351
2,000	0,128	0,165	0,193	0,223	0,248	0,273	0,289
2,400	0,094	0,124	0,148	0,175	0,199	0,225	0,244
2,800	0,072	0,096	0,116	0,141	0,163	0,190	0,210
3,200	0,057	0,076	0,093	0,115	0,135	0,162	0,183
3,600	0,046	0,062	0,076	0,095	0,114	0,139	0,162
4,000	0,038	0,051	0,063	0,080	0,097	0,121	0,145
4,400	0,031	0,043	0,054	0,068	0,083	0,106	0,130
4,800	0,026	0,037	0,046	0,058	0,072	0,094	0,118
5,200	0,023	0,031	0,039	0,050	0,063	0,084	0,107
5,600	0,020	0,027	0,034	0,044	0,055	0,075	0,098
6,000	0,017	0,024	0,030	0,039	0,049	0,067	0,090
6,400	0,015	0,021	0,027	0,034	0,044	0,061	0,080
6,800	0,014	0,019	0,024	0,031	0,040	0,055	0,076
7,200	0,012	0,017	0,021	0,027	0,036	0,050	0,071
7,600	0,011	0,015	0,019	0,025	0,032	0,046	0,066
8,000	0,010	0,014	0,017	0,023	0,029	0,042	0,062
8,400	0,009	0,013	0,016	0,021	0,027	0,039	0,058
8,800	0,008	0,012	0,014	0,019	0,025	0,036	0,054
9,200	0,007	0,011	0,013	0,017	0,023	0,033	0,051
9,600	0,007	0,010	0,012	0,016	0,021	0,031	0,048
10,000	0,006	0,010	0,011	0,014	0,019	0,028	0,045
10,400	0,006	0,009	0,010	0,014	0,018	0,026	0,042
10,800	0,005	0,008	0,010	0,013	0,017	0,025	0,040
11,200	0,005	0,007	0,009	0,012	0,016	0,023	0,038
11,600	0,005	0,007	0,008	0,011	0,014	0,021	0,036
12,000	0,004	0,006	0,008	0,010	0,014	0,020	0,034

Вертикальну деформацію окремо розташованого фундаменту S_y з використанням розрахункової схеми у вигляді лінійно-деформованого півпростору методом пошарового підсумовування обчислюють за формулою (рис. 21):

$$S_y = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot (\alpha_{y,i-1} + \alpha_{y,i}) \cdot h_i, \quad (15)$$

де α_y – безрозмірний коефіцієнт, який потрібно приймати за табл. 3.

Таблиця 3

Коефіцієнти α_y .

Відносна глибина $\xi = \frac{2 \cdot z}{b}$	Коефіцієнти α_y . у разі відношення довжини завантаженої ді- лянки L до її ширини b , що дорівнює $\eta = \frac{L}{b}$:						
	$\eta=1$	$\eta=1,4$	$\eta=1,8$	$\eta=2,4$	$\eta=3,2$	$\eta=5,0$	$\eta=10,$
0,000	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
0,400	0,210	0,211	0,214	0,220	0,217	0,218	0,218
0,800	0,165	0,176	0,181	0,184	0,186	0,188	0,189
1,200	0,132	0,145	0,151	0,156	0,160	0,162	0,164
1,600	0,104	0,119	0,126	0,133	0,137	0,140	0,142
2,000	0,083	0,098	0,106	0,113	0,118	0,122	0,124
2,400	0,067	0,081	0,089	0,010	0,102	0,107	0,110
2,800	0,055	0,067	0,076	0,084	0,089	0,010	0,097
3,200	0,045	0,057	0,065	0,073	0,079	0,084	0,088
3,600	0,038	0,048	0,056	0,064	0,070	0,076	0,079
4,000	0,032	0,041	0,048	0,056	0,062	0,068	0,072
4,400	0,027	0,036	0,042	0,049	0,055	0,062	0,066
4,800	0,024	0,031	0,037	0,044	0,050	0,056	0,061
5,200	0,021	0,027	0,033	0,039	0,045	0,052	0,057
5,600	0,018	0,024	0,029	0,035	0,041	0,047	0,053
6,000	0,016	0,021	0,026	0,032	0,037	0,044	0,049
6,400	0,014	0,019	0,023	0,029	0,034	0,040	0,046
6,800	0,013	0,017	0,021	0,026	0,031	0,038	0,043
7,200	0,011	0,016	0,019	0,024	0,029	0,035	0,041
7,600	0,010	0,014	0,017	0,022	0,026	0,032	0,038
8,000	0,009	0,013	0,016	0,020	0,024	0,030	0,036
8,400	0,008	0,012	0,015	0,018	0,022	0,028	0,034
8,800	0,008	0,011	0,013	0,017	0,021	0,026	0,033
9,200	0,007	0,010	0,012	0,016	0,019	0,025	0,031
9,600	0,007	0,009	0,011	0,015	0,018	0,024	0,029
10,000	0,006	0,008	0,011	0,014	0,017	0,022	0,028
10,400	0,006	0,008	0,010	0,013	0,016	0,021	0,027
10,800	0,005	0,007	0,009	0,012	0,015	0,020	0,026
11,200	0,005	0,007	0,009	0,011	0,014	0,019	0,025
11,600	0,005	0,006	0,008	0,010	0,013	0,018	0,024
12,000	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,017	0,023

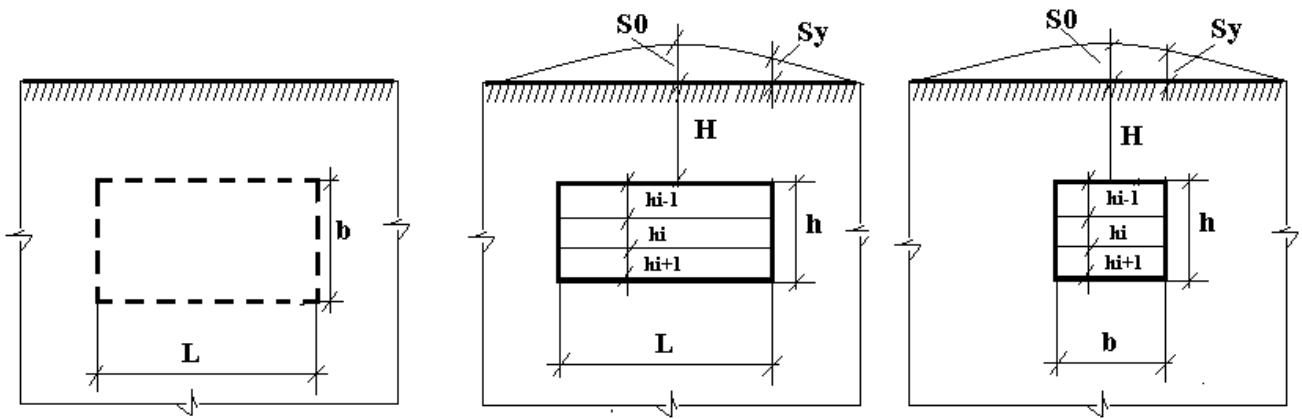


Рис. 21. Схема до розрахунку підйому денної поверхні внаслідок заморожування ділянки ґрунту розміром $L \cdot b \cdot h$

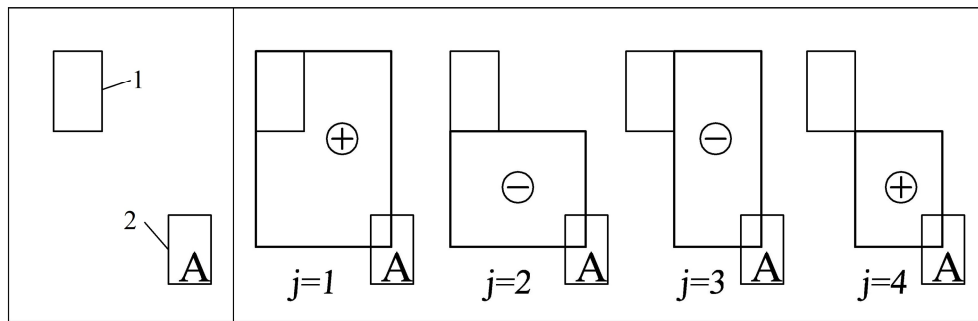


Рис. 22. Схема до розрахунку деформацій денної поверхні методом кутових точок: а) схема розташування замерзлої ділянки породи: 1, що розраховується, і 2, що впливає; б) схема розташування фіктивних ділянок замерзлої породи

Вертикальні деформації денної поверхні на вертикалі, що проходить через будь-яку точку A (в межах або за межами фундаменту, що розглядається, обчислюють методом «кутових точок» (рис. 22) та алгебраїчним сумуванням деформацій у кутових точках чотирьох фіктивних замерзлих ділянок за формулою.

$$S_A = \sum_{j=1}^n S_{y,A,j}, \quad (16)$$

де S_A – сумарна деформація основи, зумовлена заморожуванням підземної ділянки 2 на рис. 22, а), а $S_{y,A,j}$ – кутові деформації фіктивних замерзлих ділянок, поданих на рис. 22, б); $\varepsilon_{o,i}$ – відносна деформація i -го шару товщиною h_i під час розморожування, а $k_{o,i}$ – коефіцієнт умов роботи, котрий необхідно приймати за табл. 3.

Якщо експериментальних даних немає, то допускається приймати $\varepsilon_{o,i} = 0,1$.

5.5. Якщо фундамент розташований поза зоною заморожування – розморожування основи, то для визначення його додаткових деформацій потрібно використовувати метод кутових точок.

6. У разі заморожування основи необхідно враховувати зниження коефіцієнта фільтрації, внаслідок чого можливе підняття рівня підземних вод і додаткове обводнення основи.

7. У випадку розміщення колекторів теплових насосів всередині залізобетонних фундаментів та їхніх елементів, для сприйняття додаткових зусиль, зумовлених різницею коефіцієнтів температурного розширення, необхідно встановити додаткові арматурні каркаси.

8. Допускається виконувати сумісний розрахунок напружено-деформованого стану системи «основа, в якій розміщений колектор теплового насоса – фундамент – надфундаментна споруда».

Для цього доцільно використовувати стандартні програмні комплекси, наприклад, «ЛПРА», «СКАД» тощо.

Зроблені такі висновки:

1) під час заморожування-розморожування основи наявні значні зміни напружено-деформованого стану розташованих на них будинків і основ. Ці зміни не враховані в чинних на території України нормативних документах;

2) внаслідок температурних деформацій залізобетонних конструкцій, у яких розташовані пластикові колектори теплових насосів, виникають значні температурні напруження. Ці напруження не враховані в чинних на території України нормативних документах.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій виконано узагальнення досліджень за проблемою використання теплових насосів, що дозволило на основі вперше отриманих закономірностей взаємодії колекторів теплових насосів з водонасиченою ґрунтовою основою та конструкціями фундаментів розробити методику їх проектування та рекомендації щодо використання в умовах щільної забудови великих міст.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Розроблено методику визначення теплових полів, зумовлених взаємодією колекторів ґрунтових теплових насосів і ґрунтових основ. Ця методика дає можливість враховувати нелінійну залежність теплофізичних властивостей ґрунту від температури, а також фазові переходи під час заморожування – розморожування порової рідини.

2. Запропоновано і досліджено модель основи, що дає змогу під час визначення її напружено-деформованого стану врахувати зумовлені фазовими перетвореннями порової рідини, додаткові напруження і деформації.

3. У межах схеми роздільного розрахунку запропоновано методику обчислення додаткового осідання основ, у яких розміщено колектори теплових насосів, зумовленого фазовими переходами під час заморожування – розморожування ґрунту під час роботи теплових насосів.

4. У межах схеми роздільного розрахунку запропоновано методику оцінки несучої здатності по ґрунту основи, в яких знаходяться колектори теплових насосів.

5. У межах схеми сумісного розрахунку розроблено методику визначення додаткового осідання основи, а також деформацій і напружень у конструкціях, розміщених на ній, зумовлених фазовими переходами у разі заморожування – розморожування ґрунту під час роботи теплових насосів.

6. Вирішена задача визначення додаткових напружень, які виникають в елементах конструкцій фундаментів, що одночасно є несучими конструкціями споруди і колекторами теплових насосів.

7. Розроблено практичні рекомендації із розрахунку і проектування основ і фундаментів, у яких розміщено колектори теплових ґрунтових насосів.

8. Економічний ефект від впровадження результатів роботи при проектуванні і будівництві житлових комплексів у м. Львові корпорацією «Ріел-Груп» та ТЗОВ «Львів-Буд» склав 385 000 грн. Подальше впровадження розроблених рекомендацій та методик дасть можливість економити до 20 тисяч м³ газу на рік.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ Й РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В ТАКИХ РОБОТАХ

1. Моркляник Б. В. Основания и фундаменты тепловых насосов: монография / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник. – Львов: СПОЛОМ, 2009. – 64 с.

2. Моркляник Б. В. Температурные поля в основаниях грунтовых тепловых насосов: монография / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник. – Днепропетровск : Пороги, 2011. – 123 с.

3. Моркляник Б. В. Напряженно-деформированное состояние грунтового полупространства, внутри которого приложена осесимметричная распределенная нагрузка: монография / А. В. Шаповал, Б. В. Моркляник, В. С. Андреев, В. Г. Шаповал, В. И. Кабрель. – Днепропетровск: Пороги, 2011. – 94 с.

4. Моркляник Б. В. Вариационные методы граничных элементов и сплайнов в контактных задачах: монография / В. Г. Шаповал, А. В. Шаповал, Б. В. Моркляник, В. С. Андреев. – Львів : Друк-Захід, 2014. – 96 с.

5. Моркляник Б. В. Закономірності деформування геомеханічної системи «фундамент-ґрунтовий масив» в зоні дії колектора теплового насоса: монографія / Б. В. Моркляник. – Львів: Друк-Захід, 2015. – 340 с.

6. Моркляник Б. В. Напряженно-деформированное состояние и сопротивление грунта при вдавлении свай / Н. М. Кризский, Б. В. Моркляник // Будівельні конструкції. – 2006. – Вип. 64. – С. 368–376.

7. Моркляник Б. В. Эффективность забивания та віброзанурення паль в ґрунті різної вологості / Г. І. Черний, Б. В. Моркляник // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів, 2008. – № 627. – С. 200–204.

8. Моркляник Б. В. О целесообразности использования грунтовых оснований в качестве накопителей тепла / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник, А. В. Шаповал // Збірник наукових праць, серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2008. – Вип. 22. – С. 138–142.

9. Моркляник Б. В. Тепловые насосы, энергетические основания и фундаменты. Часть 1 / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник, А. В. Шаповал // Світ геотехніки. – 2009. – № 1. – С. 27–29.

10. Моркляник Б. В. Тепловые насосы, энергетические основания и фундаменты. Часть 2 / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник, А. В. Шаповал // Світ геотехніки. – 2009. – № 2. – С. 28–29.

11. Моркляник Б. В. Тепловые насосы, энергетические основания и фундаменты. Часть 3 / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник, А. В. Шаповал // Світ геотехніки. – 2009. – № 3. – С. 24–26.

12. Моркляник Б. В. Тепловые насосы, энергетические основания и фундаменты. Часть 4. / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник, А. В. Шаповал // Світ геотехніки. – 2009. – № 4. – С. 32–33.

13. Моркляник Б. В. Закономерности изменения во времени температуры на дневной поверхности грунтовых оснований / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник // Збірник наукових праць, серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2010. – Вип. 3(28). – С. 298–302.

14. Моркляник Б. В. Закономерности изменения тепловой энергии в основании U-образного коллектора теплового насоса / Б. В. Моркляник, В. С. Андреев // Геотехнічна механіка. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАН України. – 2011. – Вип. 94. – С. 140–143.

15. Morklyanyk B. V. The Heat Pumps Foundation Design Calculation Aspects / B. V. Morklyanyk // Journal of Science. – 2013. – Vol. 02. – No. 01. – P. 283–288.

16. Morklyanyk B. V. Peculiarities of the Development of Deep Foundation Settlements / A. V. Shapoval, B. V. Morklyanyk // Journal of Science. – 2013. – Vol. 02. – No. 01. – P. 289–293.

17. 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. (Наукометрична база Index Copernicus).

18. Моркляник Б. В. Закономерности распределения тепловых полей в грунтовом основании u-образного коллектора теплового насоса / Б. В. Моркляник, В. С. Андреев, В. Г. Шаповал, А. С. Фартушний // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 259–264.

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

20. Моркляник Б. В. Напряжено-деформованный стан півпростору, всередині якого знаходиться точкове джерело об'ємної деформації / О. М. Шашенко, В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник, А. В. Шаповал // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук : КрНУ, 2014. – Вип. 2 (14). – С. 24–31. (Наукометрична база Index Copernicus).

21. Моркляник Б. В. Моделирование деформаций основы, спрчинених роботою грунтових теплових насосів / Б. В. Моркляник, А. С. Фартушний, Т. В. Рабочая // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого вироб-

ництва. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2 (14). – С. 180–186. (Наукометрична база Index Copernicus).

22. Моркляник Б. В. Новые проблемы фундаментостроения и механики грунтов – совмещенные основания и фундаменты тепловых насосов / А. В. Шаповал, В. В. Капустин, Б. В. Моркляник, А. С. Фартушный, В. В. Хаустов // Известия юго-западного государственного университета. Серия техника и технологи. – Курск, 2014. – № 3. – С. 61–64.

23. 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 // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2014. – Вип. 28. – С. 436–440.

24. 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.

25. Моркляник Б. В. Закономерности сезонного распределения тепловых полей в ґрунтового основании / Б. В. Моркляник // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – 2015. – № 2 (91). – С. 149–153. (Наукометрична база Index Copernicus).

26. 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. (Наукометрична база Index Copernicus).

27. Моркляник Б. В. Напряженно-деформированное состояние полупространства, внутри которого находится точечный источник давления / А. Н. Шашенко, В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник, А. В. Шаповал // Геотехнічна механіка. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАН України. – 2015. – Вип. 120. – С. 302–311.

28. Моркляник Б. В. Зависимости сопротивления грунтов забивке свай от показателей их свойств / Г. И. Черный, Б. В. Моркляник // Свайные фундаменты. Экспериментально-теоретические исследования и практика проектирования : труды Междунар. науч.-технич. конф., посвященной 50-летию БашНИИ-Строя. – Уфа, 2006. – С. 148–154.

29. Моркляник Б. В. Перспективи використання теплових насосів в Україні / Б. В. Моркляник // Перспективи освоения подземного пространства: тезисы докладов 1-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, 18-20 апреля 2007 г. – Днепропетровск : НГУ, 2007. – С. 57–59.

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

31. Morklyanyk B. 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.

32. Моркляник Б. В. Определение методики расчета тепловых полей в грунтовом основании, образованных в ходе теплообмена между основанием и четырьмя u-образными коллекторами теплового насоса конечной длины / Б. В. Моркляник, В. С. Андреев, А. С. Фартушный, В. Г. Шаповал // Форум гірників – 2013: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 8 жовтня 2013 р. – Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – Т. 2. – С. 243–247.

33. Моркляник Б. В. Теоретические исследования закономерностей сезонного распределения температуры в грунтовом основании / В. Г. Шаповал, Б. В. Моркляник // Перспективы развития строительных технологий: материалы 9-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, 23–24 апреля 2015 г. – Донецк : НГУ, 2015. – С. 250–254.

34. Моркляник Б. В. Тепловые поля в грунтовом основании, образованные в ходе теплообмена между основанием и четырьмя u-образными коллекторами теплового насоса неограниченной длины / Б. В. Моркляник, А. С. Фартушный, В. Г. Шаповал // Перспективы развития горного дела и подземного строительства: материалы V-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергетика. Экология. Человек» (конференция молодых ученых – аспирантов и магистрантов). – К., 2013. – С. 49–53.

35. Моркляник Б. В. Температурное поле в основании плоского коллектора теплового насоса конечных размеров / Б. В. Моркляник, А. С. Фартушный, В. Г. Шаповал // Перспективы развития горного дела и подземного строительства: материалы V-й Междунар. науч.-техн. конф. «Энергетика. Экология. Человек» (конференция молодых ученых – аспирантов и магистрантов). – К., 2013. – С. 53–57.

36. Моркляник Б. В. Визначення несучої здатності пальового фундаменту при циклічному заморожуванні-розмерзанні ґрунту / Б. В. Моркляник, П. О. Проценко // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: матеріали Междунар. студ. науч.-техн. конф. 9–10 апреля 2015 г. – Донецк : Норд-Пресс, 2015. – С. 235–237.

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

38. Моркляник Б. В. Влияние работы плоских коллекторов грунтовых тепловых насосов на деформации грунтовых оснований и фундаментов / Б. В. Моркляник, А. С. Фартушный // Перспективы развития горного дела и подземного строительства: матеріали VII Междунар. науч.-техн. конф. «Энергетика. Экология. Человек» (конференция молодых ученых, аспирантов и магистрантов). 27-29 травня 2015 р. – Київ: Підприємство УВОІ «Допомога» УСІ», 2015. – С. 168-173.

Особистий внесок автора у роботах, що опубліковані у співавторстві:

[1-4] – розробка і обґрунтування розрахункових схем, аналіз результатів обчислень; [6-10] – аналіз інформації у галузі використання теплових насосів, альтернативних джерел енергії; [11-14] – обробка інформації, щодо зміни температури на денній поверхні та у при поверхневому шарі ґрунту, апроксимація статистичних даних; [16-18] – розробка розрахункових схем та обґрунтування граничних умов; [19] – аналіз особливостей проектування основ під теплові насоси; [20-25] – оцінка впливу зовнішніх теплових впливів у розрахункових схемах; [27, 28, 30-32] - виконання лабораторних досліджень водо насичених ґрунтів, обґрунтування розрахункових схем, аналіз результатів обчислень; [33-36, 38] – аналіз розподілу температури навколо колекторів теплових насосів.

АНОТАЦІЯ

Моркляник Б. В. Закономірності деформування геомеханічної системи «фундамент-ґрунтовий масив» в зоні дії колектора теплового насоса. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2015.

Робота присвячена розробці комплексу методологічних підходів щодо визначення закономірностей деформування геомеханічної системи «фундамент – ґрунтовий масив» в зоні дії колектора теплового насоса. Запропоновано і досліджено модель основи, що дає змогу при визначенні її напружено-деформованого стану врахувати зумовлені фазовими перетвореннями порової рідини додаткові напруження і деформації. У межах схеми роздільного розрахунку запропоновано методики обчислення додаткового осідання та оцінки несучої здатності по ґрунту, у яких розміщено колектори теплових насосів, при врахуванні впливу фазових переходів під час заморожування – розморожування ґрунту. Ці результати узагальнено на випадок схеми сумісного розрахунку, у межах якої розроблено методику визначення додаткового осідання основи, а також деформацій і напружень у конструкціях, розміщених на ній, зумовлених фазовими переходами у разі заморожування – розморожування ґрунту під час роботи теплових насосів. Вирішена задача визначення додаткових напружень, які виникають в елементах конструкцій фундаментів, що одночасно є несучими конструкціями споруди і колекторами теплових насосів, а також розроблено практичні рекомендації із розрахунку і проектування основ і фундаментів, у яких розміщено колектори теплових ґрунтових насосів.

Ключові слова: теплові насоси, геомеханічна система, фундамент, ґрунтовий масив, осідання, фазові переходи, теплові поля, сумісний розрахунок.

АННОТАЦИЯ

Моркляник Б. В. Закономерности деформирования геомеханической системы «фундамент-грунтовый массив» в зоне действия коллектора теплового насоса. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.09 - «Геотехническая и горная механика». Национальный горный университет, Днепропетровск, 2015.

Работа посвящена разработке комплекса методологических подходов к определению закономерностей деформирования геомеханической системы «фундамент - грунтовый массив» в зоне действия коллектора теплового насоса.

Выявлены дополнительные воздействия на основания и расположенные в них фундаменты и конструкции, обусловленные работой тепловых насосов.

Исследованы закономерности изменения свойств бетонных конструкций и грунта, причиной которых является теплообмен между основанием и расположенным в нем коллектором теплового насоса. В частности, установлено, что наибольшее ухудшение деформационных и прочностных свойств имеет место при циклическом замораживании – оттаивании поровой жидкости. Аналогичный вывод был сделан относительно несущей способности одиночных свай.

Исследованы закономерности сезонного изменения температуры на поверхности грунтового основания от времени. Показано, что эта зависимость с высокой точностью может быть описана полиномом четвертой степени (коэффициент корреляции более 0,95).

Получены теоретические решения фундаментальных задач о распределении температуры в полупространстве от плоского источника температуры и объемного источника тепла, с использованием которых могут быть решены задачи об определении температурных полей в грунтовых основаниях, обусловленных теплообменом с коллекторами тепловых насосов произвольной формы в плане и пространстве.

Эти результаты были использованы для практических расчетов температур в окрестности плоского и четырех U-образных коллекторов тепловых насосов.

Получено фундаментальное решение задачи об определении вертикальных перемещений, обусловленных действием расположенного внутри основания точечного источника давления. На его основе разработана методика раздельного расчета дополнительных деформаций, обусловленных теплообменом грунтовых оснований с расположенными в них коллекторами тепловых насосов.

Предложена и исследована модель основания, которая позволяет при определении ее напряженно-деформированного состояния учесть обусловленные фазовыми превращениями поровой жидкости дополнительные напряжения и деформации.

В рамках схемы раздельного расчета предложены методики вычисления дополнительных осадок и оценки несущей способности по грунту оснований, в которых размещены коллекторы тепловых насосов, при учете влияния фазовых переходов при замораживании - оттаивании грунта.

Эти результаты обобщены на случай схемы совместного расчета, в рамках которой разработана методика определения дополнительных осадок основания, а также деформаций и напряжений в расположенных на нем фундаментах и надфундаментных конструкциях, обусловленных работой тепловых насосов.

Решена задача определения дополнительных напряжений, возникающих в элементах конструкций фундаментов, которые одновременно являются несущими конструкциями сооружения и коллекторами тепловых насосов, а также разработаны практические рекомендации по расчету и проектированию оснований и фундаментов, в которых размещены коллекторы тепловых грунтовых насосов.

Результаты изложенных в диссертации исследований были использованы: в учебном процессе вуза «Львовская политехника» (чтение лекций, научно – исследовательские исследования, квалификационные работы); разработке программы Львовского областного совета по экономии не возобновляемых ресурсов, разработке Министерством Минрегионразвития нормативных документов по внедрению систем, позволяющих использовать низкопотенциальное тепло грунтовых оснований для нужд отопления.

Ключевые слова: тепловые насосы, геомеханическая система, фундамент, грунтовый массив, осадки, фазовые переходы, тепловые поля, совместимый расчет.

ANNOTATION

Morklyanyk B.V. Deformation geomechanical system "foundation-soil mass" in the area of the collector heat pump. - Manuscript.

The thesis for scientific degree of Doctor of technical sciences by specialty 05.15.09 - "Geotechnical and mining mechanical" State Higher Education Institution National Mining University, Dnipropetrovs'k, 2015.

The work is dedicated to the development of complex methodological approaches to determining the deformation geomechanical system "foundation - soil mass" in the area of the collector heat pump. Proposed and studied a model framework, which enables it in determining the stress-strain state into account due to pore fluid phase transformations additional stress and strain. Under the scheme proposed separate calculation methods of calculation and evaluation of additional sedimentation on the soil bearing capacity, which hosted the collectors heat pumps, taking into account the impact of phase transitions during freezing - thawing soil.

These results are generalized to the case of joint calculation scheme within which the method of determining additional basics subsidence and deformation and stresses in structures placed on it due to phase transitions in the case of freezing - thawing soil during heat pumps. The problem determining additional stresses that occur in structural elements foundations, who is also the building blocks constructions and collectors heat pumps, as well as practical recommendations of the analysis and design of bases and foundations, which contains thermal collectors groundwater pumps.

Key words: heat pumps, geomechanical system foundation soil mass, sedimentation, phase transitions, thermal field of compliant calculation.

МОРКЛЯНИК Богдан Васильович

**Закономірності деформування геомеханічної системи
«фундамент-грунтовий масив» в зоні дії колектора теплового насоса**

(Автореферат)

Підп. до друку 19.11.2015. Формат 60x90/16. Папір офсет.
Ризографія. Ум. друк. арк. 1,5 Обл.-вид. арк. 1,8.
Тираж 100 пр. Зам. № 11132

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19

