

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

А. С. Моргун, І. М. Меть, В. Л. Підлуцький

**ЗАЛИШКОВІ ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ ТА
РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ ЗА
МГЕ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2023

УДК 519.635:624·044:624.15

M79

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 12 від 04.05.2023 р.)

Рецензенти:

Бойко І. П., доктор технічних наук, професор

Друкований М. Ф., доктор технічних наук, професор

Моргун, А. С.

M79 Залишкові деформації ґрунту та розрахункові методи їх визначення за МГЕ : монографія [Електронний ресурс] / А. С. Моргун, І. М. Меть, В. Л. Підлуцький – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 120 с.

ISBN 978-966-641-932-6

Приведено результати комплексних теоретичних досліджень осідань та несучої спроможності пальових, плитних фундаментів при роботі їх в нелінійній стадії, основні закономірності їх взаємодії з оточуючим ґрунтом. Викладено методи визначення НДС в активній зоні, по бокові поверхні і в площині вістря паль та плит. Розглянуто методика проектування фундаментів виходячи із гранично допустимих осідань споруд.

Монографія розрахована на студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія», спеціалістів та наукових працівників, що працюють в області числових розрахунків фундаментних конструкцій та їх реконструкції.

В монографії наведено прикладання МГЕ до визначення залишкових деформацій задач механіки ґрунтів, а також порівняння цих результатів з експериментом.

УДК 519.642:624.044:624.15

ISBN 978-966-641-932-6

© А. Моргун, І. Меть, В. Підлуцький 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
Розділ 1. ДИЛАТАНСІЯ ГЕОМАТЕРІАЛІВ. МЕХАНІЗМИ НЕПРУЖНОСТІ І ЇХ МОДЕЛЬНІ ПРЕДСТАВЛЕННЯ.....	14
1.1. Розвиток науки про пористі середовища.....	14
1.2. Рівняння континуальної механіки.....	16
1.3. Дилатансія і закони незворотнього деформування ґрунтів.....	18
Розділ 2. МОДЕЛІ ПРУЖНО - ПЛАСТИЧНОГО ТІЛА ПРИ РОЗРАХУНКАХ ОСНОВ СПОРУД.....	23
2.1. Критерії текучості для плоского деформованого стану.....	23
Розділ 3. ПЛАСТИЧНІСТЬ. РІВНЯННЯ СТАНУ ПРИ РОБОТІ ҐРУНТУ В ЗАГРАНИЧНІЙ СТАДІЇ.....	29
3.1. Елементи теорії потенціалу.....	29
3.2. Метод послідовних пружних розв'язків О. А. Іллюшина.....	34
Розділ 4. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЧИСЛОВОГО МЕТОДУ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	39
4.1. Метод зважених нев'язок.....	39
4.2. Фундаментальні рішення (сингулярні рішення чи вагова функція).....	42
4.3. Етапи розрахунку НДС ґрунтової основи за МГЕ.....	44
4.4. Дискретизація континіума.....	47
Розділ 5. АНАЛІЗ ПРИКЛАДАННЯ МГЕ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ ФУНДАМЕНТІВ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ.....	50
5.1. Узагальнення результатів досліджень за МГЕ несучої спроможності та заграничних деформацій висячої палі С10-40.....	50
5.2. Геотехнічні питання дослідження технічного стану споруди на слабких ґрунтах за МГЕ.....	53

5.3. Моделювання за МГЕ несучої спроможності бурин'екційної висячої палі С12-620 пального поля.....	60
5.4. Числові дослідження за МГЕ поведінки під навантаженням буронабивної палі С12-30.....	65
5.5. Прогнозування за МГЕ впливу розширення буронабивної палі на несучу спроможність	75
5.6. Прогноз осідання системи «будівля-фундамент-основа» за МГЕ78	
5.7. Міцність та деформативність призматичної палі L=7,75м, поперечним перетином 35×35 см. за МГЕ.....	88
Список використаних джерел	117

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Г	– границя досліджуваного елемента
ДБНіП	– державні будівельні норми і правила
МСЕ	– метод скінченних елементів
МГЕ	– метод граничних елементів
НДС	– напружено-деформований стан
P_{ij}^* , u_{ij}^*	– напруження та переміщення в фундаментальних розв'язках Р. Міндліна
СЕ	– скінченний елемент
ГЕ	– граничний елемент
ξ	– точка прикладення сили $P = 1$ в півплощині в фундаментальних розв'язках Р. Міндліна
x	– точка нагляду в фундаментальних розв'язках Р. Міндліна
САПР	– системи автоматизованого проектування

ВСТУП

Перед фундаментобудуванням стоять складні, відповідальні, практично і економічно значимі задачі. *Головний шлях розвитку фундаментобудування та механіки ґрунтів – дослідження пружно-пластичних дилатансійних моделей (70 % території України – лесові просадкові ґрунти) та їх удосконалення на основі порівняння з експериментом.* Тому огляд сучасного стану і перспективи розвитку цієї області будівництва, узагальнення цих даних дозволяє накопичити досвід для отримання рішень проблем фундаментобудування. Недостатність вивчення даної проблематики стримує широке впровадження палів в будівельну практику. Це свідчить про необхідність проведення додаткових вишукувань в цьому напрямку та про актуальність даної проблематики.

Матеріали – кості тварин, деревина рослин, мають деякі граничні несучі спроможності, які не можуть бути перевищені (Галілей). Розміри об'єкту обумовлюються зусиллями і напруженнями, які взмозі витримати його скелет, а також деформаціями, які не мають бути платнею за функціонування організму, чи цілістність об'єкту. Приблизно так звучать фундаментальні висновки про живу і неживу природу, зроблені з інженерних позицій біля 5 століть назад [1].

Після цього було відкриття Гука – новий ключ до пояснення породи твердих тіл. Вони пружні, настирливо опираються зовнішнім впливам, їм властиві особливості поведінки. В теорії пружності існують положення:

1. Теорія напружень заснована на вимогах рівноваги.
2. Вивчення деформацій являє собою по суті геометричний напрям аналізу.
3. Фізичні рівняння являють математичну ідеалізацію механізму поведінки матеріалу.

Збільшення тиску на ґрунти привело до необхідності розв'язку нових задач по врахуванню нелінійності основ, створення нових моделей. Для сьогодення математична модель – одне із головних і найбільш економічних прийомів теоретичних і прикладних досліджень.

В 18–20 століттях був стрімкий розвиток науки. Якісно новою формою цього розвитку стали диференціальне та інтегральне числення – форма абстрактного наукового мислення.

Так, в пружних розрахунках передбачається, що хача система сил, що діє на ґрунтовий масив, змінює його форму і об'єм, неперервність ніколи не порушується. Адже в теорії пружності передусім має бути забезпечено неперервність поля переміщень і в масиві ґрунту [2].

При ці умові оцінка результатів розрахунків може бути проведена шляхом їх співставлення з гранично допустимими. Та в ґрунті при дії граничних навантажень може пройти порушення неперервності (від місцевих невеликих просадкових тріщин до ковзання однієї частини ґрунту відносно другої). Ґрунти – не суцільні матеріали. Механіка ґрунтів вступила в етап вивчення фізики механічних процесів ґрунтових основ, математичного описання, врахування структурних зв'язків, природньої ущільненості, нестабільності властивостей ґрунтів, межі застосування різних теорій, врахування нелінійності.

З початку ХІХ і до середини ХХ століття основним методом розрахунку будівельних конструкцій і основ споруд був метод допустимих напружень, який ігнорував дійсні властивості матеріалів і рахував їх пружними. Та по мірі накопичення даних дійсної роботи будівельних конструкцій та основ виявилось, що в них існують зони, де напруження рівні граничним і навіть перебільшують їх. Пояснення того, що при цьому конструкція не руйнується метод допустимих напружень дати не міг. Вихід був знайдено в переході на метод розрахунку по стадії руйнування, який характеризується урахуванням пластичної роботи матеріалу. З 1955 р метод граничних станів прийнято в якості обов'язкового (при ньому конструкції чи споруди перестають задовільняти заданим експлуатаційним вимогам).

Стисливість дисперсних ґрунтів в сотні раз більше стисливості наземних споруд. Саме тому розрахунок ґрунтів по деформаціях є основним і має виконуватись умова $S \leq S_u$.

Не дивлячись на уявну простоту, процеси, що проходять в ґрунтах, дуже складні, як об'єкти досліджень і контролю. До цього часу досліджено не всі аспекти механізму деформування основ під навантаженням. При переході від пружних деформацій до пластичних зазвичай використовуються нелінійні закони зв'язку між σ - ϵ , так звані

«рівняння стану» (фізичні рівняння, які являють математичну ідеалізацію механічної поведінки матеріалу), що установлюються дослідним шляхом в стабілометрах. Головний напрям подальших досліджень – подальше залучення математичних методів та ЕОМ в практику проектування – автоматизація її.

К. Терцагі запропонував трифазову модель ґрунту, рис. 1.1:

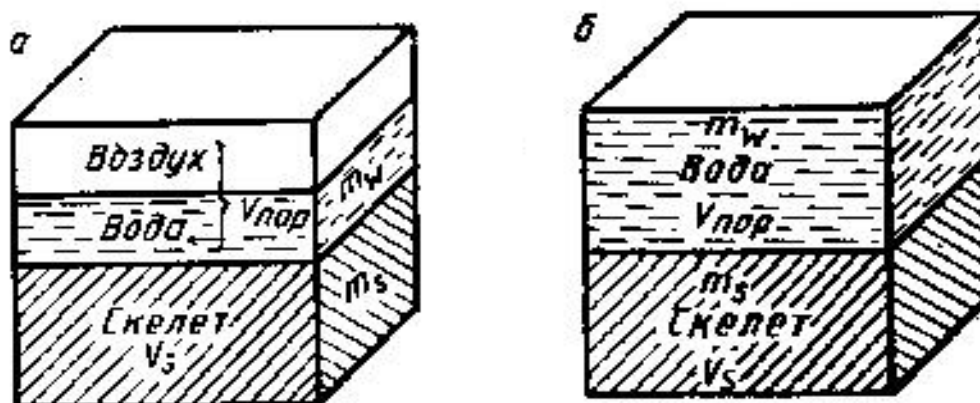


Рисунок 1.1 – Складові частини ґрунтів: а) трифазова модель ґрунту: повітря, вода, тверді частинки; б) – двофазова модель ґрунту: тверді частинки, вода

Наявність пор в ґрунті дає можливість отримувати свободу руху. З місць тимчасової дислокації частинки ґрунту можуть переміщуватись в пори. При ущільненні ґрунту зменшується поверхнева енергія.

Характер кривої «навантаження-осідання» ґрунту вказує на різко виражену нелінійну залежність «P–S» рис. 1.2. В зоні ущільнення визначальними параметрами є: ν , E (коефіцієнт Пуассона, модуль деформацій). В зоні зсувів здійснюються структурні зміни ґрунтової основи, визначальними параметрами є: ν , E, пористість e. Точка 1 – структурна міцність ґрунту. При тисках, менших структурної міцності ($p < p_{стр}$), коли тиск сприймають водно-колоїдні і кристалічні зв'язки, процес ущільнення практично не розвивається. Лише після порушення цих зв'язків ($p > p_{стр}$) проходить ущільнення ґрунту.

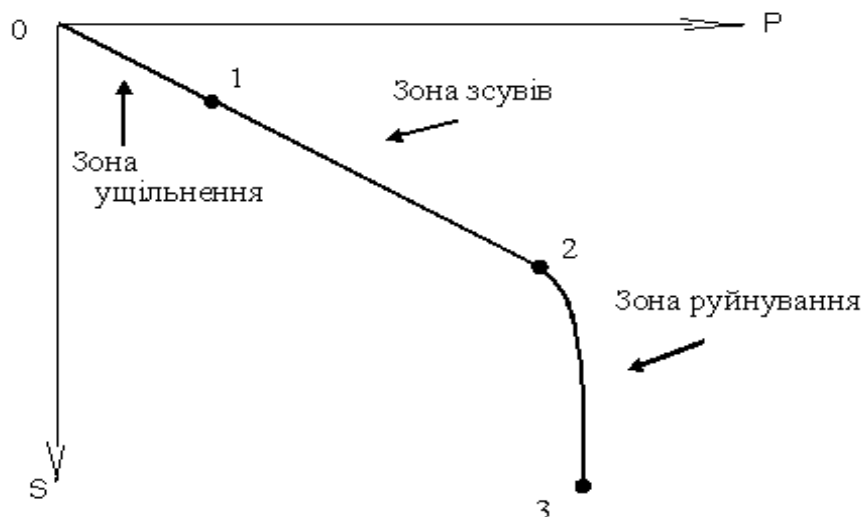


Рисунок. 1.2 – Результати експериментальних досліджень залежності $s = f(P)$

При розрахунку основ споруд практичний інтерес являє рішення задачі визначення НДС одночасної наявності в основі дограничної (пружної) і граничної рівноваги, яка отримала назву змішаної задачі теорії пружності і пластичності ґрунтів. Рішення цієї змішаної задачі має задовільняти як в пружній, так і в пластичній областях одним і тим же рівнянням рівноваги, геометричним рівнянням, але різними фізичними рівняннями, умові текучості ($f=0$) в пластичній області і відповідним граничним умовам. Фізичне рівняння (рівняння стану) в пластичній області має вигляд інкрементальної (диференціальної) залежності. В роботі використано неасоційований закон пластично течії.

Одна із найбільш важливих задач механіки ґрунтів – формування критерію, який вказує коли порушення ґрунтового масиву отримують розміри і розповсюдження, достатні для управління його поведінкою. Цей критерій відображає умову руйнування ґрунту чи межу його міцності.

Використання людиною ґрунту в якості будівельного матеріалу почалось з незапам'ятних часів, та лише недавно ці питання отримали наукову трактовку. Цьому сприяли роботи К. Терцагі (1925 р.) та багатьох інших... Насьогодні світ знаходиться в розгарі наукової революції, що потребує нових типів споруд, для яких попередній досвід розрахунку недостатній. В розвитку любої наукової дисципліни є період, коли спостереження за явищами і запису їх механізму дозволяють за допомогою точних математичних методів зробити корисні висновки.

Хронологічний розвиток цих дисциплін визначається складністю моделі, яка необхідна для отримання прийнятних результатів. Так теорія пружності і пластичності були напрацьовані роботами Коші, Нав'є, Пуассона в середині 19 століття, дослідження Мізеса – на початку 20 століття.

Основою математичного формулювання цих теорій є абстрактна ідея про континуум чи неперервне середовище. Ця ідея складається із міркувань про неперервний розподіл матеріалу в дослідній області, що дозволяє прикладати для її дослідження математичний аналіз. Ґрунтовий масив в загальному порядку являє собою складний конгломерат компактно розташованих дискретних частинок, що мають різну форму і орієнтацію. На перший погляд установка математичного еквівалента для такого складного матеріалу буде нерозв'язним завданням.

Така теорія має задовільняти двом вимогам:

- прогнозувати зміну відносного розташування частинок (деформацію) в ґрунтовому масиві під дією навантаження;
- давати можливість оцінювати зв'язок між навантаженням і степінню наближення до стану руйнування.

Ці залежності мають відповідати даним експериментальних спостережень.

Таким чином, щоб встановити характер впливу статичних навантажень на ґрунтовий масив крім рівнянь рівноваги потрібно ще: – критерій переходу ґрунту до критичного стану, – та фізичні рівняння роботи ґрунту в пластичній стадії (адже явище руйнування відноситься до області теорії пластичності). Запорукою успішного проектування будівель та споруд є залучення до цієї специфічної задачі конструктора та геотехніка ще на стадії проекту. Рівень розвитку механіки ґрунтів суттєво впливає на економічність і надійність прийнятих рішень. Властивості конструкційних матеріалів вивчені краще і методи їх розрахунку розроблені повніше. Специфіка ґрунтів: – значна неоднорідність будови, – залежність від характеру зовнішніх дій, – темп та послідовність будівництва.

Допустимість подання ґрунтової основи лінійно-деформованим середовищем визначається розрахунковим опором ґрунту основи.

Неврахування неоднорідності та дисперсності ґрунтів в інженерних розрахунках приводить до введення коефіцієнтів запасу, та степінь цієї

компенсації для різних ґрунтових основ залишається поки що вельми невизначеною. Перехід від моделі однорідного середовища до моделей, що враховують неоднорідність основи робить дослідження НДС більш точними та математично більш складними. Для рішення поставленої задачі необхідно залучення числових методів та ЕОМ. Реальні задачі геомеханіки моделюються диференціальними рівняннями в частинних похідних і зводяться до класу краєвих задач. Характерною особливістю краєвих задач є наявність деякої області R , що лежить в середині області G . Частина параметрів задається на границі G у вигляді граничних умов, решта параметрів визначається в результаті розрахунку. Аналітичні рішення краєвої задачі можуть бути отримані коли дослідна область R – однорідна, вихідні диференціальні рівняння – лінійні, тобто, коли можна застосувати принцип суперпозицій. В реальних задачах при оцінці можливих ситуацій ця умова часто не виконується і аналітичне рішення отримати неможливо. Тоді рішення шукають з залученням числових методів.

Сучасний проект базується на трьох китах: архітектура, конструкції, геотехніка. Улаштування основ і фундаментів – одне із відповідальних і складних питань, пов'язаних із проектуванням і спорудженням будівель. Це обумовлено необхідністю урахування всієї палітри властивостей ґрунтів майданчика будівництва, та використовуючи їх будівельні якості, приймати найбільш раціональні в техніко-економічному відношенні варіанти. Успіхи фундаментобудування в цілому зобов'язані його науковій базі – механіці ґрунтів, основи якої закладені в 20 – 30 роках ХХ століття в трудах К. Терцагі, Н. М. Герсіванова. Своєрідність поведінки геоматеріалів проявляється у визначальних співвідношеннях (фізичних співвідношеннях чи рівняннях стану) для них. Надійність основ залежить від вміння вірно оцінити інженерно-геологічні умови, гідрогеологічну ситуацію, зміну властивостей ґрунту в процесі будівництва та експлуатації, урахування сумісної роботи основ та фундаментів, що потребує останніх досягнень в механіці ґрунтів, сучасних числових методів та ЕОМ. Фундамент є відповідальною конструкцією, яка передає і перерозподіляє навантаження від споруди на ґрунти в таких межах, при яких забезпечується експлуатаційна надійність як самої основи, так і підземної частини будівлі. Підвищення функціональної безпеки будівлі досягається переважно за рахунок підвищення несучої спроможності її складових, в тім числі – фундаментів. Зростаючі можливості сучасних

ЕОМ потребують постійної ревізії існуючих числових методів для дослідження нових класів задач, для яких з'явилась надія на вирішення. Однією із таких задач є нелінійна задача геомеханіки поведінки під навантаженням фундаментів споруд.

Урахування нелінійності в механіці ґрунтів дозволяє більш раціонально проектувати фундаменти споруд. При цьому потрібне визначення з великою степінню точності порівняно великого числа параметрів деформування ґрунту, саме вони визначають несучу спроможність фундаментів. Розрахунок ведеться покроково з використанням ітерацій і потребує застосування сучасних швидкодіючих ЕОМ.

Деформація – це зміна форми континуума, це реакція (відповідь) матеріалу на прикладені навантаження. Під деформацією розуміють процес порушення (руйнування ґрунту) і створення нових форм структури ґрунту, його адаптації.

Надійність основ та фундаментів, здешевлення робіт по їх улаштуванню завжди було і залишається вельми актуальною задачею, рішення якої в значній мірі залежить від вміння вірно оцінити інженерно-геологічні умови ґрунтів, вірно змодельовати поведінку фундаментних конструкцій в цих ґрунтах. Прогноз деформацій основ споруд є пріоритетною задачею механіки ґрунтів, оскільки умови роботи інженерної споруди в значній мірі залежать від НДС основи. Суттєве збільшення ваги сучасних споруд, яка передається на основу, потребує достовірних розрахункових методів визначення їх несучої спроможності та викликає необхідність розвитку нелінійних методів розрахунку фундаментів. Задачі механіки ґрунтів часто розглядаються як задачі пластичності. Ґрунти замінюються ідеальним матеріалом, який веде себе пружно до деякого НДС, при якому починається ковзання чи пластична течія. Пружно-пластичне деформування ґрунту описується негономними (не інтегрованими) диференціальними залежностями. Тому для реалізації цих задач залучаються числові методи.

Ні один із будівельних матеріалів, в тім числі і бетон, не мають тієї степені стохастичної змінності своїх властивостей, як ґрунти. І натепер стоїть питання створення розрахункової моделі ґрунту, яка б обіймала всю множину його природніх властивостей. Модель мала б враховувати дискретність будови, розривність та нелінійність деформацій, неоднорідність, анізотропність. На тепер ще неможливо враховувати всі

Отриманий графік залежності «навантаження-осідання» для забивної палі довжиною $L = 7,75$ м, поперечним перетином 35x35 см наведено на рис. 5.24.

Таким чином, для отримання надійних та достовірних прогнозів поведінки основ споруд під навантаженням крім сучасних теорій та розрахунків потрібні дані інженерно-геологічних вишукувань про фізико-механічні характеристики ґрунтів, котрі мають випадкову природу.

Показники властивості породи мають прикладне значення та грають роль числових вхідних параметрів в сучасних математичних моделях ґрунтів і саме вони визначають ступінь надійності і точності виконуваних розрахунків по теоретичному передбаченні стисливості ґрунтових основ.

Проведена систематизація значень e^{\max} , e^{\min} для пісчаних та глинистих ґрунтів та отримані залежності для фізико – механічних характеристик ґрунтів, які слугують вхідними параметрами сучасних розрахункових нелінійних моделей роботи ґрунту, дають можливість максимально використовувати природну несучу здатність ґрунтів.

Використана методика розрахунку несучої спроможності палі за допомогою числового моделювання за МГЕ дозволяє спрогнозувати нелінійну поведінку палі з урахуванням конкретних фізико-механічних характеристик будівельного майданчика на основі неасоційованого закону теорії пластичної течії.

Виконано аналіз результатів числових досліджень, проведено співвідношення з експериментальними даними, які стримані безпосередні заміром тиску в ґрунтові основі мездозами [25].

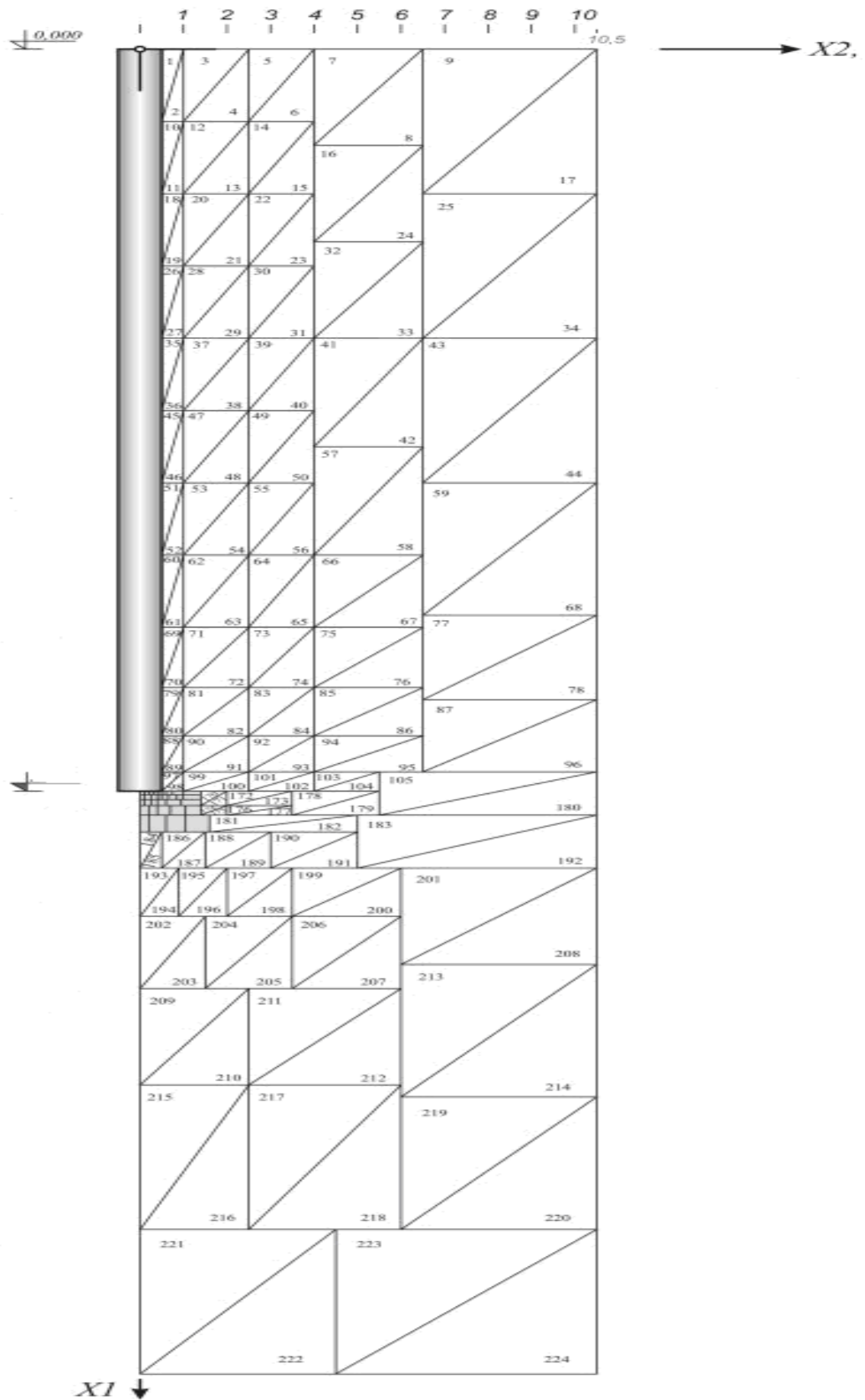


Рисунок 5.23 – Дискретизація активної зони навколо фундаментної основи

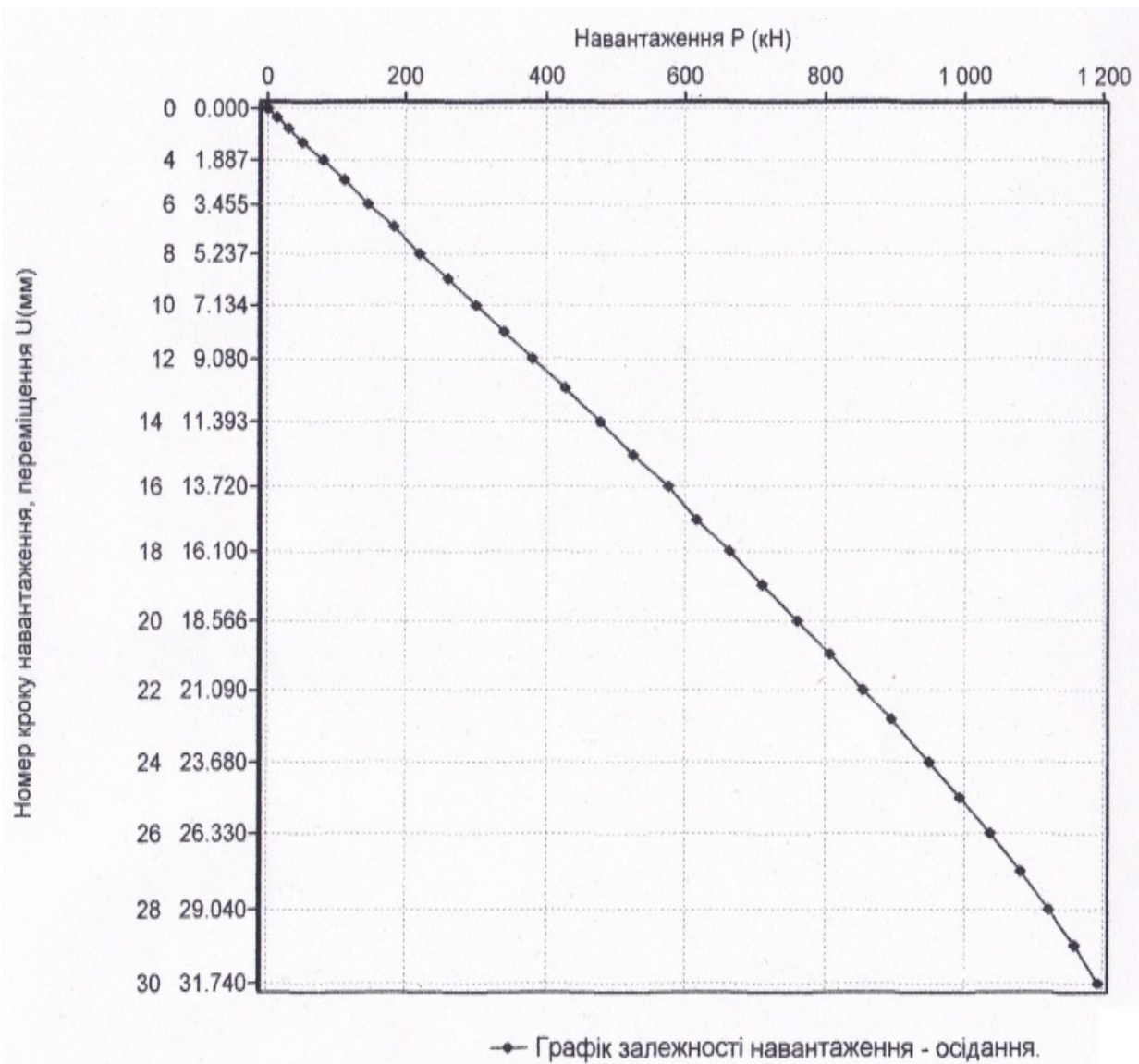


Рисунок 5.24 – Графік «P-S» роботи палі для ґрунтових умов будівельного майданчика мікрорайону «Поділля» в м. Вінниця

Несуча спроможність призматичної палі згідно розрахунків за МГЕ склала $P = 828$ кН ($S = 2$ см), та має задовільне співпадання з розрахунком за діючим ДБН – 840 кН. Розрахунки ґрунтів за пружно–пластичними моделями приводять до таких концентрацій напружень, що спостерігаються в натурі.

Таким чином, дискретизація та квантування неперервних процесів – це складові прийняття рішень в багатьох складних системах. Запропонована концепція восьмипараметричної математичної моделі дозволяє в більшій степені враховувати реальні властивості ґрунтів.

Список використаних джерел

1. Suklje. Rheological Aspects of Soil Mechanik. WILEY – INTERSCIENCE a division of John Wilty. London, 1976.
2. Praeger W, Hodge P. G. Theoru of Perfectly Plastic Solids, Dover, New York, 1968.
3. Бойко І. П. Моделювання багатоповерхового будинку на нелінійній основі в умовах прибудови / І. П. Бойко, В. О. Сахаров // Світ геотехніки.– Запоріжжя: НДІБК, 2006.– Вип. 4 – С. 25-28.
4. Drucker D. C., Praeger W., Soil mechanics and plastic analysis or limit design. Quart. Appl. Math. 10, 157 – 165 (1952).
5. Timoshenko S. P., Goodier I. N. Theory of Elasticity, 3rd ed., MoGraw – Hill, Tokyo, 1970.
6. Піскунов В. Г., Шевченко В. Д., Рубан М. М. Опір матеріалів з основами теорії пружності і пластичності. Книга 3. – К.: Вища школа, 1995. – 320 с.
7. Hill R. Mathematical Theory of Plasticity, Clarendon Press, Oxford, 1950.
8. Олейніков С. М. МГЕ в контактних задачах для пружних просторових неоднорідних основ / С. М. Олейніков. Видавн. АСВ, 2000 - 754 с.
9. Бойко І. П. Напружено-деформований стан пружньо-пластичної, дилатуючої основи пальових фундаментів / Бойко І. П. // Зб. Основи і фундаменти. – К. : Будівельник, 1986. – Вип. 19. – С. 7–9.
10. Бойко І. П. Теоретичні основи проектування пальових фундаментів на пружньо-пластичні основи / І. П. Бойко // Зб. Основи і фундаменти. – К. : Будівельник, 1985. № 18. – С. 11–18.
11. C. A. Brebbia, J. e. F. Telles, L. C. Wrobel Boundary Element Techniques. Springer-Verlag, 1984. DOI: 10.1007/978-3-642-48860-3.
12. Brebbia K. Applications of MGE in engineering / K. Brebbia, S. Walker. 1982.
13. Venerji P., Butterfield R. Boundary element methods in applied sciences. 1984, 492 с.
14. Червінський Я. Й. Дослідження технічного стану будівель та споруд при небезпечних геологічних процесах / Я. Й. Червінський, О. О. Петраков, М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, В. А. Титаренко, В. Д. Шумінський, С. В. Степанчук, А. М. Дворник, Я. І. Домбровський // «Наука та будівництво». – К. : ДП НДІБК, 2014. – С. 17-24.
15. Рейнер М. Деформація і течія. Введення в реологію / М. Рейнер. Зб. Держтехвидат, 1963. – 383 с.

16. Роботнов Ю. Н. Повзучість елементів конструкцій. Зб. Наука, 1966, 752 с.
17. Бойко І. П. Дослідження взаємодії багатопверхових будівель як елементів системи «основа-фундамент-надземні конструкції» при статичних та динамічних навантаженнях / І. П. Бойко, В. О. Сахаров // Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві.– Вінниця,– УНІВЕРСУМ-Вінниця. 2009 – Випуск 1 – С. 53-59.
18. Григорян А. А., Хабібулін І. І. Несуча спроможність буронабивних паль на площадках будівництва заводу важкого машинобудування. Зб. ОФМГ, № 2, 1977.
19. Ільюшин А. А. Праці (1946–1966). Т. 2. Пластичність; Укладачі Е. А. Ільюшина, М. Р. Короткіна. Зб. Фізматліт, 2004. – 480 с. – ISBN 5-9221-03-64-4.
20. Жваво Й. П., Цукрів В. О. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при прибудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків // Основи й фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник.– К.: КНУБА, 2004. – Вип. 28. – С. 3–10.
21. Teles D. K. Applying the Boundary Element Method to Solve inelastic tasks. 1987, 160 с.
22. Зоценко Л. М. Особливості влаштування буроін'єкційних паль у водонасичених пісчаних ґрунтах / Л. М. Зоценко, В. П. Левченко, С. Б. Біда, Ф. М. Передерій // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво) Полтава: ПНТУ, 2009. – 76 с.
23. Mindlin R. D., Force at a point in the interior of a semi-infinite solid, *Physics* 7, 195-202 (1936).
24. Моргун А. С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів / А. С. Моргун. – Вінниця : ВНТУ. – 2013 – 108 с.
25. Швець В. Б., Бойко І. П., Винников Ю. Л., Зоценко М. Л., Петраков О. О. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. Дніпропетровськ, «Пороги», 2012 –196 с.
26. Ільюшин А. А. Пластичність. Держтехвидат. 1947.
27. Бішоп А. У. Параметри міцності при зсуві непорушених і перем'ятих зразків ґрунту. Зб. Механіка. Визначальні закони механіки ґрунтів. 1975.
28. Мангушев Р. А. Плитно-пальовий фундамент для будівель підвищеної поверховості / Р. А. Мангушев, А. Б. Фадеев // Основи, фундаменти та механіка ґрунтів. – 2008. – № 1. – С. 15–19.
29. Casagrande A. Characteristic of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and Earth Fills. *Journal of the Boston Society of Civil Eng.* Vol 23, No 1, 1936 .

30. Melan E. Der Spannungszustand der durch eine Einzelkraft im Innern beanspruchten Halbscheibe, *Z. Angew. Math.Mech.*12,343-846 (1932).

31. Hammer P. C., Marlove O. Y., Stroud A. H. Numerical integration over simplexes and cones. *Math. Tables Other Aids Comput.*10,130-139 (1956).

*Наукове електронне видання
комбінованого використання.
Можна використовувати в локальному та мережному режимах*

**Моргун Алла Серафимівна
Меть Іван Миколайович
Підлуцький Василь Леонідович**

ЗАЛИШКОВІ ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ ТА РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ ЗА МҐЕ

Монографія

Видається в авторській редакції

Оригінал-макет підготовлено А. С. Моргун

Оригінал-макет виготовлено в РВВ ВНТУ

Підписано до видання 28.08.2023 р.
Гарнітура Times New Roman
Зам № P2023-076

Видавець та виготовлювач –
Вінницький національний технічний університет,
редакційно-видавничий відділ
Хмельницьке шосе, 95, ГНК, к. 114,
Вінниця, 21021
press.vntu.edu.ua
email: irvc.vntu@gmail.com
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114