

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

А. С. Моргун, В. Ю. Плясовиця

**ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОГНОЗУВАННЯ
ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ДЕФОРМУВАННЯ ОСНОВИ БУРОНАБИВНИХ
ТА БУРОІН'ЄКЦІЙНИХ ПАЛЬ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК.519.635:624.044:624.15

M79

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 7 від 22.12.2016 р.)

Рецензенти:

О. А. Савицький, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

М. Ф. Друкований, доктор технічних наук, професор

Моргун, А. С.

M79 Пружно-пластичні аспекти прогнозування за методом граничних елементів деформування основи буронабивних та буроін'єкційних паль : монографія / А. С. Моргун, В. Ю. Плясовиця – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 88 с.

ISBN 978-966-641-695-0

В роботі з позицій механіки дисперсного пружно-пластичного середовища викладено уявлення про особливості поведінки буронабивних та буроін'єкційних паль під впливом навантажень. Теоретичні питання висвітлено в об'ємі, що дозволяє продумано підійти до оцінки роботи ґрунтів в основах фундаментів і проектування їх за межами пружності. Приклади наведено практично для всіх етапів проектування, що полегшує розуміння і практичне прикладання теорії.

УДК 519.642:624.044:624.15

ISBN 978-966-641-695-0

© А. Моргун, В. Плясовиця, 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА МЕХАНІКА КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ БУРОВИХ ПАЛЬ З ГРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ.....	11
1.1 Основні передумови розрахунку пальових фундаментів	11
1.2 Варіанти визначення граничної величини опору буронабивної палі за графіком «осідання–навантаження».....	13
1.3 Обґрунтування необхідності введення числових методів в задачі механіки ґрунтів	20
1.4 Вплив технологічних факторів на деформативність буронабивних паль	22
1.5 Аналіз експериментальних графіків $S = f(P)$ з метою пошуків резервів роботи буронабивних паль.....	24
1.6 Урахування впливу довготривалих навантажень на несучу спроможність основ при реконструкції споруд	29
РОЗДІЛ 2 ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ БУРОІН'ЄКЦІЙНИХ ПАЛЬ	31
2.1 Область застосування буроін'єкційних паль.....	31
2.2 Розрахунок буроін'єкційних паль за несучою спроможністю	34
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ МГЕ, КЛАСИЧНОЇ ТА НЕЛІНІЙНОЇ МЕХАНІКИ ДИСПЕРСНОГО СЕРЕДОВИЩА ҐРУНТУ.....	37
3.1 Методи оцінки жорсткісних властивостей ґрунтової основи	37
3.2 Компоновка визначальних рівнянь стану при використанні числового МГЕ в розрахунках бурових паль	39
3.3 Стисливість ґрунтів. Аналіз сучасних підходів	46

РОЗДІЛ 4 ЧИСЛОВІ ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ПЛАСТИЧНОЇ ТЕЧІЇ В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ФУНДАМЕНТОБУДУВАННЯ	52
4.1 Прогнозування за МГЕ деформативності буронабивних паль з розширеною основою	52
4.2 Практична реалізація прийняття оптимального рішення вибору розмірів буронабивної палі (визначення несучої спроможності буронабивної палі)	60
4.3 Геотехнічний розрахунок за МГЕ поведінки буроін'єкційних паль при підсиленні фундаментів.....	64
4.4 Поведінка фундаменту баштової споруди на буронабивних палях за МГЕ.....	69
4.5 Вплив технології улаштування буронабивної палі на її несучу спроможність за МГЕ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- Г – границя досліджуваного елемента
ДБНіП – державні будівельні норми і правила
ІГЕ – інженерно-геологічний елемент
МСЕ – метод скінчених елементів
МГЕ – метод граничних елементів
НДС – напружено-деформований стан
ПК – програмний комплекс
САПР – системи автоматизованого проектування
СЕ – скінчений елемент
СЛАР – система лінійних алгебраїчних рівнянь
СПФ – стрічковий пальовий фундамент
 P_{ij}^* , u_{ij}^* – напруження та переміщення в фундаментальних розв'язках Р. Міндліна
 ξ – точка прикладення сили (точка збурення)
 x – точка нагляду

ВСТУП

Підняття темпів і ефективності розвитку будівництва на базі науково-технічного прогресу, технічного переоснащення і реконструкції виробництва будівельних конструкцій, матеріалів, удосконалення системи управління – одна із основних задач будівельної галузі України. Необхідно підняти галузь будівництва на новий індустріальний та організаційний рівні, а це можливо лише на основі нових науково-технічних напрацювань, використання трудового досвіду як вітчизняного, так і зарубіжного.

Сучасне будівництво в Україні в основному здійснюється шляхом подальшого збільшення навантажень на ґрунтову основу. Тиск під подошвою фундаментів зростає з 0,3 до 1 МПа і виникає проблема сприйняття системою «основа–фундамент» такого навантаження. Адже в результаті руйнування ґрунту основи фундамент може втратити стійкість та спричинити руйнування як підземних конструкцій споруди, так і наземних. Надійність роботи основ і фундаментів визначають довговічність і експлуатаційну придатність споруди в цілому.

Як відомо, на улаштування фундаментів витрачається біля 25 % бетону, що використовується при будівництві споруди та 40 % від її кошторисної вартості. Крім того, при виникненні складності улаштування фундаментів, особливо при несприятливих ґрунтових умовах, нерідко затримуються терміни будівництва всієї споруди. Збільшення складностей і підвищення відповідальності сучасних споруд постійно піднімають вимоги, що пред'являються до фундаментів, і потребують росту ефективності і якості їх роботи. Все це говорить про те, що питання удосконалення конструкцій фундаментів, методів їх проектування та спорудження є актуальним для сьогодення.

Пальові фундаменти знайшли широке використання як при будівництві на слабких ґрунтах, де вони є традиційними конструкціями, так і при масовому будівництві в звичайних ґрунтових умовах. Як в цивільному, так і в промисловому сучасному будівництві значно збільшилися навантаження на фундаменти, використовуються забивні і збільшуються об'єми буронабивних паль. Палі дозволяють:

- зменшити об'єми земляних і бетонних робіт; – підняти рівень індустріалізації робіт нульового циклу;
- скоротити терміни та кошторисну вартість улаштування фундаментів;
- проводити роботу в будь-яку пору року;
- підняти надійність конструкцій та експлуатаційні якості будівель і споруд;
- буронабивні палі з розширенням в просадкових лесових ґрунтах дозволяють надійно вирішити питання стійкості та довговічності побудованих на них споруд.

Ці переваги стали реальними в результаті впровадження наукових досліджень і удосконалення методів розрахунку.

Із специфічними властивостями лесових ґрунтів будівельники зустрічаються часто. Уже в процесі будівництва споруда може отримувати значні нерівномірні осідання, які неможливо пояснити, виходячи з механіки звичайних ґрунтів. Проведені пошукові роботи та експерименти показали, що специфічною властивістю лесу є властивість знаходитись в напруженому стані від зовнішнього навантаження і власної ваги і при замоканні давати швидкоплинну додаткову деформацію, яку назвали просадкою. На відміну від осідання, ця деформація пов'язана з корінними змінами в структурі, носить провальний характер і є великою небезпекою для споруди.

Широке розповсюдження лесу на Україні примушує активно вирішувати та вивчати проблеми будівництва на просадкових ґрунтах. Вивчення цієї проблеми вимагає об'єднання пошукових, проектних та науково-дослідних робіт.

Удосконалення методів розрахунку вітчизняної школи механіки ґрунтів формувались на думці, що більшість будівель і споруд передають на ґрунт в основному вертикальне навантаження і, як правило, немає загрози у вигляді втрати несучої спроможності (стійкості) основи. Тому головним розрахунком для фундаментів став розрахунок осідань як загальних, так і нерівномірних. Щоб відмовитись від, так званих, допустимих тисків, що не залежать для даного ґрунту від розмірів фундаменту, і перейти до визначення тисків за допустимими осіданнями, необхідно було дати базу для їх визначення. Таку базу дав

Н. М. Герсіванов – теорія лінійно-деформованого середовища. В. В. Соколовським в 40-х розвинено статичку сипучих середовищ. Та практика змусила шукати нові, більш оптимальні моделі ґрунту, що враховують його нелінійну роботу.

Натепер при будівництві на значних (порядку 20 м і більше) товщах лесових просадкових ґрунтів все частіше використовують буронабивні палі. Буронабивні палі великих (до 1,2 м) діаметрів дозволяють порівняно легко прорізати значні товщі просадкових ґрунтів, заглиблюватись в більш міцні ґрунти, передавати на них зосереджені навантаження від споруд і в стислі терміни, і в будь-яку пору року споруджувати фундаменти. Доцільність використання буронабивних палей особливо яскраво проявляється при будівництві важких споруд з розвинутою підземною частиною.

Таким чином, на лесових ґрунтах перспективне використання мають буронабивні палі: – в сухих глинистих ґрунтах заглиблення забивних палей неможливе (утруднене); – коли потрібно прорізати просадкові ґрунти теж забивні палі не можуть це зробити.

Буронабивні палі вперше були запропоновані та використані в ХІХ столітті А. Е. Страусом. Запропонований ним принцип виготовлення таких палей тепер розвинений світовою практикою фундаментобудування. Бурові палі в 3–7 разів знижують трудовитрати і до 40–60 % зменшують кошторисну вартість нульового циклу.

Бурові палі, що зараз використовуються, в залежності від потрібної несучої спроможності мають діаметр стовбура від 50 до 200 см., а розширення п'яти – від 150 до 350 см. Глибина закладання нижніх кінців палей при значних потужностях слабких чи просадкових ґрунтів сягає 40–50 м. Такі палі можуть сприймати навантаження від 2000 до 20000 кН. Область застосування буронабивних палей доволі широка: фундаменти ТЕЦ; укріплення зсувних ділянок доріг; в слабких ґрунтах; при дії динамічних навантажень.

Як відомо, економічність та надійність палевих фундаментів залежить від якісного визначення їх несучої спроможності. Несуча спроможність палі – сума опорів зрушенню по бічній поверхні стовбура і стискання ґрунту нижче вістря. В Україні за діючими ДБН попереднє значення граничного навантаження на палю визначається ро-

зрахунком з використанням табличних значень опору зрушень і стисканню залежно від складу і стану ґрунтів.

Розрахункові значення підлягають корегуванню після випробовування дослідних паль в натурних умовах. На пальному полі об'єкта проводяться контрольні випробовування 0,5 % паль від їх кількості, але не менше двох. Найбільш перспективними методами визначення несучої спроможності є статичне зондування та дослідження моделей паль безпосередньо на будівельному майданчику. При статичному зондуванні виникає необхідність інтерпретації отриманих з його допомогою результатів. Статистичне опрацювання результатів паралельних досліджень буронабивних паль статичним навантаженням і моделей паль статичним зондуванням дає можливість отримання таких висновків.

Порівняно з фундаментами, що споруджуються у відкритих котлованах, в буронабивних палях в роботу включається бокова поверхня, що сприймає частину вертикального навантаження і головним чином чинить опір горизонтальним зусиллям і моментам, суттєво нарощуючи характер конкретних тисків в горизонтальній площині фундаменту. Дослідження показали, що навантаження, які сприймають такі фундаменти, можуть бути в 1,5–1,6 рази більші, ніж у традиційних фундаментів такої ж площі.

Розрахунки основ зараз проводяться по двох групах граничних станів, таким чином, щоб при експлуатації і спорудженні будівель була забезпечена придатність їх до нормальної експлуатації з точки зору міцності і стійкості наземних конструкцій чи технологічних і архітектурних вимог. Ці вимоги забезпечують розрахунок основ по деформаціях, який проводиться для всіх видів нескельних ґрунтів і для ґрунтів з особливими властивостями. Так при осіданні лесових ґрунтів внаслідок замокання граничні деформації конструкції настають раніше втрати ґрунтом несучої спроможності. Метою розрахунку основ за II граничним станом (за деформаціями) є обмеження переміщень фундаментів такими межами, які гарантують нормальну експлуатацію споруди. В особливих випадках основу розраховують за несучою спроможністю. Закладений в діючих нормах проектування як основний розрахунок за деформаціями в принципі забезпечує максимальне

використання несучої спроможності основи. Та обмеження тиску на ґрунти умовною межею використання теорії лінійно-деформованого середовища не дозволяє використовувати наведені в нормах вказівки про граничні деформації основ споруд. Розробка нових методів розрахунку для нелінійно деформованих основ дасть можливість достатньо повно використовувати переваги розрахунку основ за деформаціями. Тиски, що передавали на ґрунт раніше, були незначні – 0,15–0,25 МПа (50 %) і 0,35 МПа і більше (10 %). Зараз тиски складають 0,8–1 МПа.

Із результатів експериментальних досліджень Р. Е. Харіна [54] – із збільшенням діаметра паль їх несуча спроможність на вертикальні та горизонтальні навантаження зростає, тому з точки зору величини несучої спроможності можна говорити про *абсолютну перевагу буронабивних паль великого діаметра*, які мають велику перспективу використання.

При будівництві нових споруд поряд з існуючими фундаментами піднімаються навантаження на їх основи. Якщо фундаменти були розраховані лише на навантаження від споруд, що на них опираються, то додаткове навантаження може викликати осідання фундаментів, які перебільшать нормативні.

Розробка котлованів поряд з існуючими фундаментами спричиняє розпушення ґрунтів та зниження їхніх характеристик міцності. Для зменшення впливів на існуючі фундаменти необхідне огородження котловану від існуючих фундаментів, що можна зробити застосуванням буронабивних чи буроінекційних паль.

Саме тому особливістю сучасного фундаментобудування є зміщення центра ваги на буронабивні та буроін'єкційні палі, які є ефективнішими за забивні. Використання буронабивної технології дозволяє використовувати заглиблення палі на конкретну позначку.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА МЕХАНІКА КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ БУРОВИХ ПАЛЬ З ГРУНТОВОЮ ОСНОВОЮ

1.1 Основні передумови розрахунку пальових фундаментів

Методи розрахунку пальових полів і вертикально армованих ґрунтових масивів ґрунтуються на таких передумовах:

1. Осідання ґрунтового масиву, що підстеляє пальове поле, визначається як для умовного фундаменту пошаровим підсумовуванням деформацій з урахуванням структурної міцності (тиск перед ущільненням ґрунту).

2. Палі (армоелементи) на декілька порядків жорсткіші довколишнього ґрунту і тому впливом їх радіальних деформацій на ґрунт можна знехтувати. Відповідно міжпальовий ґрунт знаходиться під впливом лише вертикальних зміщень W , які враховуються в розрахунку.

3. Вертикальні деформації ґрунту $\partial W / \partial z$ підкоряються тій же моделі компресійного стиснення (білінійній), що і в розрахунку осідань нижче розташованого шару.

4. Боковий опір палі нелінійно залежить від взаємного зміщення палі і ґрунту по даній глибині.

5. Різниця осадок палі і ґрунту на рівні торця палі визначається через нелінійний коефіцієнт відпору.

6. При заглибленні палі ґрунт не стискується під її вістрям (чи під утвореним конічним ядром), а розштовхується ним в сторони і вниз. Це класичне поняття механізму формування лобового опору сформульовано ще К. Терцагі.

7. При нелінійних розрахунках необхідно розраховувати модуль загальної деформації, а не модуль пружності, оскільки початковий модуль пружності збільшує жорсткість основи в декілька разів.

8. При стисненні міжпальового ґрунту можна користуватись компресійними даними (тут модель не потрібна).

9. Вважається, що під плитою напружений стан близький до компресії (чи перехідний від компресії до одновісного стиснення). Під плитою відсутні великі горизонтальні напруження. Зсувні деформації можуть бути під краями.

Оптимальна конструкція пальового фундаменту пов'язана з вибором такого типу паль, який для конкретних умов площадки будівниц-

тва дозволив би отримати найменшу матеріалоемність і найбільш економічне вирішення. На вибір конструкції палі крім інженерних умов площадки суттєвий вплив здійснюють особливості зовнішніх навантажень на фундаменти, які бувають двох видів:

- коли вирішальним зовнішнім впливом є вертикальні навантаження;
- чи горизонтальні впливи.

В механіці ґрунтів розглядаються теоретичні та практичні питання передбачення НДС ґрунтових основ при передачі на них навантаження від споруди. Процес навантаження основ будівлі можна віднести до квазістатичного. Такі процеси характеризуються нескінченно повільною течією. Протікання цього процесу відповідає термінам забудови будівлі.

Кількісною мірою прогнозування геомеханічних процесів є напруження та деформації. Взаємодія основи та споруди проявляється в деформаціях, які можна виміряти і які є наслідком, а причиною є зусилля. Для оцінки ступеня напруженості в ґрунтах доцільно порівняти напружений стан з гранично допустимим. Прихід гранично допустимого стану в точці ґрунту залежить головним чином від його опору зсуву. Граничний напружений стан, це коли порушується рівновага між частинками ґрунту і його агрегатами, виникають площадки ковзання, ґрунт переходить в стан пластичної течії. В роботі для оцінки приходу граничного стану використано октаедричну теорію міцності.

Мінливість процесу деформування ґрунту в роботі досліджувалась за МГЕ. На основі цього числового методу в роботі напрацьовано методику розрахунку НДС буронабивних паль з визначення їх несучої здатності.

На основі напрацьованої моделі розроблено програмний комплекс поведінки буронабивних паль при дії вертикальних навантажень, який дає можливість ще на стадії проектування спрогнозувати НДС паль при конкретних ґрунтах, довжині та діаметрі палі. Проведено комплекс числових досліджень роботи буронабивних паль та порівняно результати з експериментальними даними з метою встановлення коефіцієнта кореляції. Здійснено порівняння нормативних методик визначення НДС та несучої здатності забивних і буронабивних паль згідно з СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» та новим нормативним документом ДБН В.2.1.-10-2009 «Основи та фундаменти будівель і споруд».

1.2 Варіанти визначення граничної величини опору буронабивної палі за графіком «осідання–навантаження»

Основні рівняння теорії пружності, що описують поведінку невідомих функцій σ - ε в середині і на границі області, в МГЕ зводяться до інтегральних рівнянь [35], які потребують дискретизації лише границі і значно зменшують число вузлових точок.

Числовий МГЕ потребує використання ЕОМ і, що є загальним для наближених числових методів, зводить систему розрахункових диференціальних рівнянь до розв'язання СЛАР високих порядків, що багато спрощує задачу отримання числового розв'язку.

При компоновці матриці піддатливості МГЕ в якості фундаментальних розв'язків (ядра розрахункового граничного інтегрального рівняння) використано розв'язки Р. Міндліна для однорідного півпростору [65].

Застосування інтегральних перетворень дає корисний метод розв'язання просторової і плоскої задач як теорії пружності, так і лінійної механіки руйнувань. Суттєвим є те, що зменшується число невідомих.

Можливості побудови точних розв'язків задач теорії пружності обмежені. Як для просторових, так і для плоских задач точні розв'язки можна отримати для областей з геометрично простими границями. З цієї причини давно усвідомлено необхідність використання ефективних наближених числових методів.

Таким чином, в умовах сьогодення, при збільшенні тисків на основу необхідність розв'язання задачі розробки методики прогнозування НДС буронабивних паль стрімко зростає – це одна із актуальних проблем будівельної індустрії.

Розрахунок буронабивних паль натепер в основному проводиться за ДБН [17, 42], в деяких випадках за регіональними рекомендаціями. Для опору ґрунту по боковій поверхні приймаються значення, установлені зазвичай для забивних паль. Величини нормативних опорів ґрунту R^H , f^H для буронабивних паль за регіональними документами приблизно у 1,5 рази вищі ніж за ДБН, і лише для слабких ґрунтів практично збігаються з ними.

Розходження нормативного опору в діючих нормативних документах пояснюється, перш за все, різним підходом до визначення несучої спроможності паль за результатами їх досліджень. В СНиП [45] допустимий опір паль (практично граничний) визначається в залежності від допустимих осідань будівлі. При цьому для переходу від гранично

допустимої для споруд величини осідання паль (в середньому 10 см) до величини осідання, отриманої при статичних дослідженнях, рекомендується використовувати коефіцієнт ξ . За відсутності дослідних даних допускається брати $\xi = 0,1$.

В просадкових ґрунтах ДБН рекомендують величину нормативного (граничного) опору брати при $S = 30$ мм, тобто $\xi = 0,3$. При обробці результатів графіка «осідання–навантаження», в більшості випадків нормативний опір паль береться при $S = 20$ мм, тобто $\xi = 0,2$.

Існує рекомендація цю ж величину брати за навантаженням, коли різко збільшується осідання, а допустиме осідання обмежити 60–80 мм. У зв'язку з таким розкидом при визначенні несучої спроможності паль за результатами їх досліджень, викликають інтерес зарубіжні дані з цього питання, що наведені в табл. 1.1 [5].

Таблиця 1.1 – Рекомендації з визначення граничної величини опору

Країни	Рекомендації з визначення граничної величини опору буронабивної палі за графіком «осідання–навантаження», отриманим з досліджень
Чехія	Осідання – 15–20 мм. Різкий перелом графіка
Швеція	Осідання рівне 0,1 діаметра палі. Напруження $\Sigma = 50$ кг/см ²
Німеччина, Бельгія	$S = 20$ см
Індія	Різкий згин на графіку
Австрія	$S = 25$ мм; осідання, рівне допустимій різниці осідань для споруди
США: Бостон Каліфорнія Лос-Анджелес	$S = 13$ мм; $S = 0,25$ мм на 1 т навантаження; межа пропорційності
Японія	Точка перелому графіка при осіданні ≥ 6 –9 мм

Аналізуючи всі пропозиції, можна зробити висновок, що рекомендації ДБН є найбільш прийнятними. Вони виходять із прогресивного принципу, що враховує осідання споруди, достатньо універсальні і дозволяють диференційовано підходити до призначень несучої спроможності з урахуванням досвіду будівництва.

Поведінка буронабивних паль великих розмірів під дією зростаючого втискаючого навантаження в товщі замоченого лесового ґрунту характеризується *чітким переходом* (рис. 1.1) при малому осіданні від пружного стану до пластичного. Розрахунки несучої спроможності буронабивних паль з розширеними п'ятами потребують уточнень.

Буронабивні палі мають високий опір по боковій поверхні завдяки хорошему зчепленню бетону з ґрунтом. але питомий опір під їх п'ятою значно нижчий ніж у забивних. Саме тому одним із шляхів підняття несучої спроможності буронабивних паль по ґрунту є збільшення опору під п'ятою ущільненням ґрунту в забої свердловини.

Графік буронабивної палі має чітко виражені ділянки, рис. 1.1. Основну частину навантаження сприймає бокова поверхня, на п'яту, передається незначне навантаження, і вплив ущільнення п'яти на цьому етапі практично не здійснюється. В процесі збільшення навантаження сил опору по боковій поверхні, яке досягає свого максимуму в точці, де крива має різкий перелом. Опір по боковій поверхні тут себе вичерпав і все більша частина навантаження передається на п'яту. П'ята палі працює на цьому етапі як заглиблений штамп на ущільненій основі. Далі графік фіксує різкий зрив палі, тобто повне вичерпання несучої спроможності по боковій поверхні та вістрі [14].

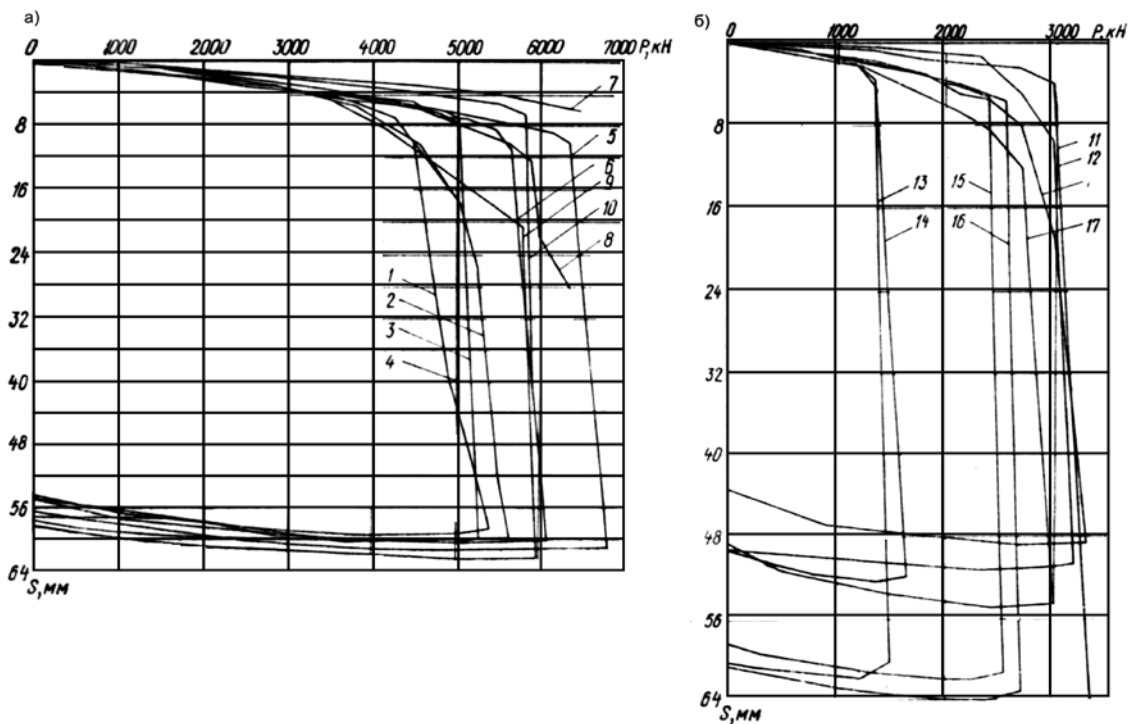


Рисунок 1.1 – Графіки експериментальних залежностей «осідання-навантаження» для буронабивних паль

Для теоретично більш точного визначення несучої спроможності можна враховувати перелом кривої «осідання–навантаження», зафіксований в межах осідань паль $\xi = 0,1$ до $\xi = 0,15$ від допустимого осі-

данья. Практично нормативний опір можна брати при осіданнях $\xi = 0,25$ від гранично допустимого. У зв'язку з рішенням про підняття ξ було проведено узагальнення експериментальних досліджень. Результати порівняння із ДБН показали, що граничний опір ґрунту по боковій поверхні, згідно з дослідними даними, у 2–3 рази більший від даних ДБН. Граничний опір під п'ятою (R^H) виявився вищим лише на 5–26 %. Найбільший розкид спостерігався для коротких паль.

Потрібно відзначити, що розкид даних по боковій поверхні не дає якої-небудь закономірності по ґрунтах. Цей розкид очевидно потрібно віднести до особливостей технології виготовлення паль і якості роботи при їх улаштуванні. В результаті узагальнення розроблено табличні дані величини опору R^H глин під п'ятою набивних паль (табл. 1.2)

Таблиця 1.2 – Граничний опір глин

Глибина закладання нижнього кінця палі, м	Значення R^H у т/м ²						
	≤ 0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	85	75	65	50	40	30	25
5	100	85	75	65	50	40	35
7	115	100	85	75	60	50	45
10	135	120	105	95	80	70	60
12	155	140	125	110	95	80	70
15	180	165	150	130	110	100	80
18	210	190	170	150	130	115	95
20	230	210	190	165	145	125	105
25	280	260	230	200	170	150	130

При проектуванні бурових паль велике значення має їх оцінювання не лише за ґрунтом, але й матеріалом. За СНиП вводиться коефіцієнт 0,6, що знижує розрахунковий опір паль по матеріалу в залежності від умов бетонування. Розрахункову міцність бетону стовбура рекомендує СНиП приймати не меншою $\frac{1}{4}$ проектної марки бетону, яка не повинна бути меншою за 200 [5].

З метою отримання оптимального вибору виду паль для конкретних ґрунтових умов в табл. 1.3 та 1.4 проведено порівняння розрахункових значень несучих спроможностей забивних та буроін'єкційних паль за характеристиками ґрунтів згідно з формулами СНиП [45] та за даними статичного зондування в однакових ґрунтових умовах.

До глибини 5,3 м геологічну ситуацію основи характеризував суглинок тугопластичний бурий, нижче – суглинок напівтвердий запискований. Результати розрахунків свідчать про підвищену несучу спроможність бурових паль.

Накопичення подібних порівнянь дозволяє уточнити методикау їх розрахунку та підняти до рівня нормативного документа.

Базу розрахунків за нормативними документами по допустимих осіданнях для фундаментних конструкцій дали Н. М. Герсіванов, Д. Е. Польшин (теорію лінійно деформованого середовища) ще в тридцятих роках 20-го сторіччя, Кулон (1773), Терцагі (1925–1930). В. В. Соколовським в 1940 році розвинута статика сипучих середовищ. Ці методики розрахунку застосовуються при оцінці сумісної роботи основи, фундаменту та надфундаментної конструкції.

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця для забивних паль

Марка палі	ЗАБИВНІ ПАЛІ									
	по характеристиках ґрунту						за результатами статичного зондування			
	Величина заглиблення палі, м	Площа поперечного перерізу палі, А, м ²	Розрахунковий опір ґрунту під вістрям, R, т/м ²	Несуча спроможність по вістрі, Rвістря=R·A, т	Несуча спроможність по боковій поверхні, Rбп=H·f·u, т	Несуча спроможність палі по характеристиках ґрунту	Граничний опір ґрунту під нижнім кінцем палі, Rs, т/м ²	Середнє значення граничного опору ґрунту по боковій поверхні f, т	Периметр поперечного перерізу u, м	Несуча спроможність палі за результатами статичного зондування, Fs=R·A+u·f·H, т
1	6,35	0,123	360,25	44,31	8,157	52,47	640,2	1,99	1,4	96,44
2	6,4	0,123	361	44,4	9,221	53,62	579,15	1,99	1,4	74,02
3	6,6	0,123	364	44,77	10	54,77	434,7	2,46	1,4	76,2
4	6,62	0,123	364,3	44,81	10,16	54,97	598,46	2,46	1,4	96,5
5	6,8	0,123	367	45,14	10,11	55,25	441	2,49	1,4	77,95
6	6,9	0,123	368,5	45,33	10,15	55,48	589,05	2,49	1,4	96,51

Сьогодні ж практика будівництва заставляє шукати нові, більш оптимальні моделі ґрунту, які б враховували його нелінійну роботу. Одним із напрямків науково-технічного прогресу в фундаментобудуванні є широке використання ЕОМ при виконанні розрахунків.

Сумісна робота фундаментів з основами виражається у взаємодії між зовнішнім навантаженням і внутрішніми силами опору ґрунту в межах активної зони.

Досліди підтверджують, що в межах активної зони за рахунок зменшення пор ґрунту під дією ефективного тиску, який зустрічає протилежний йому внутрішній реактивний тиск ґрунту (R_{sp}) розвиваються деформації ущільнення.

Таблиця 1.4 – Порівняльна таблиця для буроін'єкційних паль

Марка палі	БУРОІН'ЄКЦІЙНІ ПАЛІ								
	по характеристиках ґрунту					за результатами статичного зондування			
	Площа поперечного перерізу палі, $A, \text{ м}^2$	Несуча спроможність по вістрі, $R_{вістрі}=R \cdot A, \text{ т}$	$\sum \gamma_{sf} \cdot H \cdot f, \text{ т/м}$	Несуча спроможність по боковій поверхні $F = \gamma_{sf} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{sf} \cdot f_i \cdot H_i$	Несуча спроможність буроін'єкційної палі по характеристиках ґрунту, т	Граничний опір ґрунту під нижнім кінцем палі, $R_s, \text{ т/м}^2$	Середнє значення граничного опору ґрунту по боковій поверхні $f, \text{ т}$	Периметр поперечного перерізу $u, \text{ м}$	Граничний несучий опір буроін'єкційної палі по результатам статичного зондування, $T, F = R \cdot A + u \cdot f \cdot H, \text{ т}$
1	0,14	50,44	4,98	12,77	63,21	640,2	1,99	1,32	106,31
2	0,14	50,54	5,67	13,71	64,25	579,15	1,99	1,32	97,86
3	0,14	50,96	6,19	14,44	65,4	434,7	2,46	1,32	82,29
4	0,14	51	6,28	14,56	65,56	598,46	2,46	1,32	105,37
5	0,14	51,38	6,24	14,56	65,94	441	2,49	1,32	84,09
6	0,14	51,59	6,26	14,63	66,22	588,05	2,49	1,32	105,15

Таким чином, більш повною зачисткою чи ущільненням можна суттєво збільшити несучу спроможність паль, а бурові палі мають велику перспективу використання. При виготовленні паль потрібно звертати увагу на технологію влаштування. Можливе розшарування бетонної суміші при заповненні забою.

Збільшення їх несучої спроможності на вертикальні навантаження може бути досягнуто шляхом заповнення нижньої частини свердловини жорстким матеріалом, оскільки подошва набивної палі опирається на природний ґрунт, а забивної – на ущільнений чи влаштування

розширення (рис. 1.2). Збільшення несучої спроможності бурових паль на горизонтальні навантаження можна здійснити шляхом розширення верхньої частини палі розтрубом.

Із експериментальних методів дослідження буронабивних паль необхідно виділити динамічне та статичне зондування та метод натурних спостережень і аналогії.

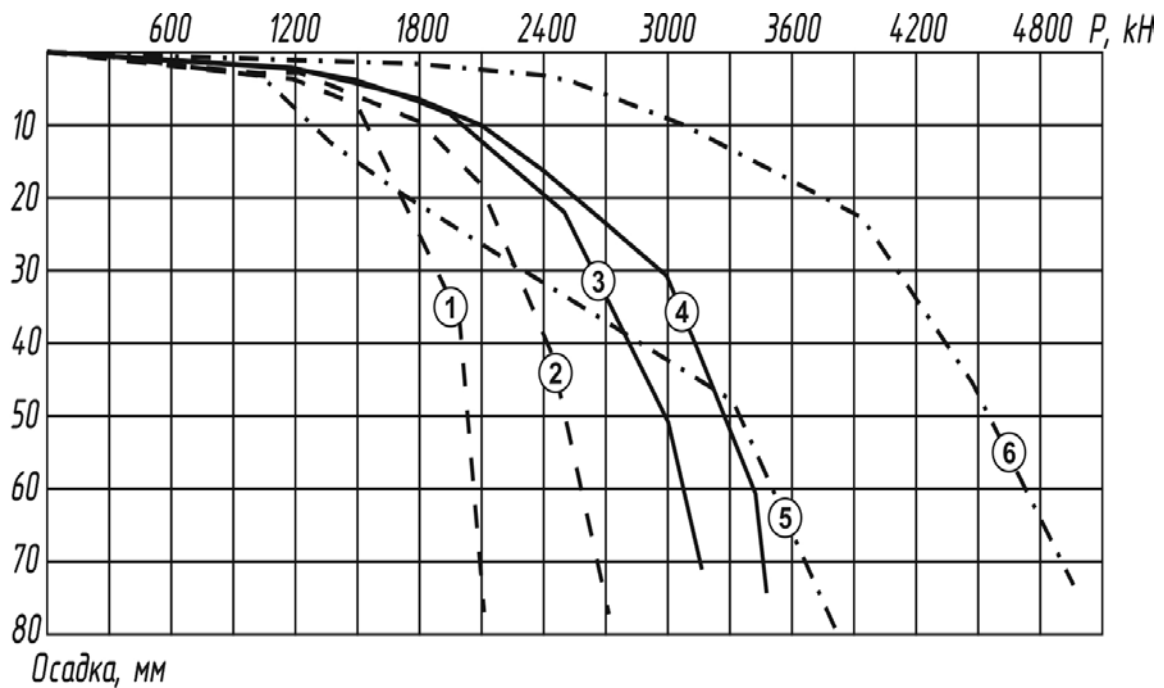


Рисунок 1.2 – Результати випробувань паль діаметром 600 мм, довжиною 16 м: 1 і 2 – з одним розширенням; 3 і 4 – з двома; 5 і 6 – з трьома розширеннями

Польові методи дослідження ґрунтів штампами дають можливість установити характеристики стисливості ґрунтів та модуль загальної деформації і граничних навантажень, при яких зберігається лінійна залежність $s = f(P)$.

Огляд літературних джерел і даних практичних досліджень показав, що до теперішнього часу нормативні методики визначення НДС буронабивних паль недосконалі. Вимоги часу заставляють напрацювати та використовувати сучасні прогресивні технології розрахунку з використанням числових методів та ЕОМ для отримання нових висот в прогнозуванні поведінки бурових паль.

1.3 Обґрунтування необхідності введення числових методів в задачі механіки ґрунтів

Поряд з інженерними методами розрахунку широкий вжиток отримали аналітичні та числові методи. Взаємодія буронабивної палі з оточуючим ґрунтом при просіданнях основи представляє дуже складний багатофакторний процес, розгляд якого в спрощеному вигляді приводить до суттєвого викривлення результатів.

Сучасні тенденції на теперішній час вступили в етап вивчення фізики механічних процесів встановлення закономірностей, що управляють поведінкою ґрунтів під навантаженням, їх математичного описання і уточнення межі прикладання. Впровадження в геомеханіку сучасних методів розрахунку – один із шляхів здешевлення фундаментних конструкцій.

Розрахунки НДС основ споруд базуються головним чином на повному чи частковому використанні математичного апарату лінійної теорії пружності. Та фізичні рівняння лінійної теорії пружності не враховують нелінійності зв'язку між $\sigma - \varepsilon$, сумісного впливу шарового тензора і девіатора напружень на деформації форми і об'єму, впливу траєкторії навантаження на деформативність, виникнення зон порушення подібності та співвісності напруженого та деформованого станів в ґрунтах.

Ґрунту, як будівельному матеріалу, не властиві незмінні властивості. Будівельні властивості ґрунту в основі можуть погіршуватись після спорудження будівлі і зміни тих чи інших місцевих умов під час спорудження. Тому з метою вірного вирішення практичних питань при компонуванні проекту і спорудженні підземної частини будівлі необхідно проводити взаємозв'язок ряду фізичних явищ і передбачати їх можливі зміни під час спорудження і експлуатації.

Як відомо, розрахункова модель – ідеалізоване середовище, де явище, що розглядається, замінюється більш простим, а середовище наділяється основними реальними властивостями.

Всі матеріальні тіла розглядаються як континуальні (суцільні), на молекулярному рівні вони дискретні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алейников С. М. МГЕ в контактных задачах для упругих пространственно-неоднородных оснований / С. М. Алейников. – М. : АСВ, 2000. – 754 с.
2. Абелев М. Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на лабых водонасыщенных грунтах / М. Ю. Абелев. – М. : Стройиздат, 1983. – 247 с.
3. Бахолдин Б. В. Методика контроля несущей способности буронабивных свай по результатам их динамических испытаний / Б. В. Бахолдин, А. В. Драницын // ОФ и МГ. – 2007. – № 1. – С. 26–30.
4. Бахолдин В. В. Совершенствование норм проектирования буронабивных свай / В. В. Бахолдин, В. Н. Мамонов // ОФ и МГ. – 1972. – № 6. – С. 21–23.
5. Совершенствование методов расчета буронабивных свай и экспериментальное обоснование несущей способности буронабивных свай на строительстве Камского автомобильного завода / Б. В. Бахолдин, В. М. Мамонов, А. Г. Осколков // Буронабивные сваи в промышленном строительстве. – М. : Стройиздат, 1974. – 214 с.
6. Бенерджи П. Методы граничных элементов в прикладных науках / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. – М. : Мир, 1984. – 494 с.
7. Бойко І. П. Вплив розташування паль на НДС захисних підпорних стінок / І. П. Бойко, В. М. Ключка // Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2004. – Вип. 61, т. 2. – С. 283–286.
8. Бойко І. П. Напружено-деформований стан ґрунтового масиву при прибудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків / І. П. Бойко, В. О. Сахаров // Основи і фундаменти : міжвідомчий науково-технічний збірник. – К. : КНУБА, 2004. – Вип. 28. – С. 3–10.
9. Бойко И. П. Напряженно-деформированное состояние упруго-пластического, дилатирующего основания свайных фундаментов / И. П. Бойко // Основания и фундаменты. – К. : Будівельник, 1986. – Вып. 19. – С. 7–9.
10. Бойко И. П. Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упруго-пластическом основании / И. П. Бойко // Основания и фундаменты. – К. : Будівельник, 1985. – № 18. – С. 11–18.

11. Бреббия К. Методы граничных элементов / К. Бреббия, Ж. Телес, Л. Вроубел. – М : Мир, 1987. – 524 с.
12. Бреббия К. Применения МГЕ в технике / К. Бреббия, С. Уокер. – М. : Мир, 1982. – 247 с.
13. Гарагаш Б. А. Надежность пространственных регулируемых систем сооружение–основание при неравномерных деформациях основания / Б. А. Гарагаш. – Сочи : Кубанькино, 2004. – 908 с.
14. Григорян А. А. Буронабивные сваи с уплотненным грунтом в забое скважины на строительстве завода Атоммаш / А. А. Григорян, Ю. А. Чаненков // ОФ и МГ. – 1980. – № 6. – С. 10–14.
15. Догадайло А. И. Исследование и внедрение эффективной технологии устройства скважин набивных свай / А. И. Догадайло // Будівельні конструкції : збірник наукових праць НД і БК (за матеріалами VI НТК по МГіФ). – 2008. – № 71. – С. 12–18.
16. Дмитриев Н. В. Усиление оснований и фундаментов зданий Государственной Третьяковской галереи / Н. В. Дмитриев, Л. И. Малышев, Ю. И. Спицын. // ОФМГ. – 1986. – № 4 – С. 6–9.
17. Основи та фундаменти будівель і споруд ДБН В.2.1-10-2009.
18. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація : ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). – К. : Будівельник, 1996.
19. Ґрунти. Лабораторні випробування. Загальні положення : ДСТУ Б В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96). – К. : Будівельник, 1997. – 38 с.
20. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості : ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) – К. : Будівельник, 1997.–32 с.
21. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань : ДСТУ Б В.2.1-5-96 (ГОСТ 20522-96). – К. : Будівельник, 1996. – 41 с.
22. Ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності та деформованості : ДСТУ Б В.2.1-7-2000 (ГОСТ 20276-99). – К. : Будівельник, 2000. – 45 с.
23. Жемочкин Б. М. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. М. Жемочкин, А. П. Сеницин. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.

24. Зарецкий Ю. К. Вязко-пластичность грунтов и расчеты сооружений / Ю. К. Зарецкий. – М. : Стройиздат, 1988. – 320 с.
25. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения : СНиП 1.02.07-87. – М. : Стройиздат, 1988.
26. Клепиков С. Н. Расчет конструкций на упругом основании / С. Н. Клепиков. – К. : Будівельник, 1967. – 285 с.
27. Плитно-свайный фундамент для здания повышенной этажности / Р. А. Мангушев, А. В. Игошин, Н. В. Ощурков, А. Б. Фадеев // ОФ и МГ. – 2008. – № 1. – С. 15–19.
28. Миронов В. А. Прочность и деформируемость грунтов при сложном напряженном состоянии / В. А. Миронов, О. Е. Софьин, А. Н. Гудий // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 4. – С. 5–9.
29. Моргун А. С. Моделювання взаємодії ефективних видів фундаментів з пружно-пластичною багатошаровою основою : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. техн. наук. : спец. 05.23.02 «Основи і фундаменти» / Моргун Алла Серафимівна ; Київський національний університет будівництва та архітектури. – К. 2005. – 478 с.
30. Моргун А. С. Застосування МГЕ у розрахунках паль в пластичному середовищі ґрунту / А. С. Моргун. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 64 с.
31. Моргун А. С. Метод граничних елементів в розрахунках паль / А. С. Моргун. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 130 с.
32. Моргун А. С. Моделювання дилатансійного середовища ґрунту системи «паль–основа» за МГЕ / А. С. Моргун // Основи і фундаменти. – 2002. – Вип. 27. – С. 84–89.
33. Моргун А. С. Визначення основних параметрів геологічної ситуації основи / А. С. Моргун, А. В. Ніцевич, І. М. Меть, О. Е. Тимошенко // Сучасні технології, матеріали, конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – Вінниця : ВНТУ – 2008. – № 4. – С. 57–61
34. Моргун А. С. Ідентифікація несучої здатності паль методами нечіткої логіки й методом граничних елементів [Електронний ресурс] / А. С. Моргун, Д. І. Кательніков, І. А. Моргун // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 2. – С. 1–7. – Режим доступу до журн. : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-2/2008-2>.

35. Моргун А. С. Комп'ютерні технології розрахунку фундаментних конструкцій за МГЕ / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніцевич // Вінниця : ВНТУ, 2009.– 162 с.
36. Моргун А. С. Теорія пластичності в механіці ґрунтів / А. С. Моргун. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 108 с.
37. Моргун А. С. Метод граничних елементів в розрахунках схилів / А. С. Моргун. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 95 с.
38. Моргун А. С. Нелінійні проблеми механіки ґрунтів / А. С. Моргун. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 122 с.
39. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Гашинський [и др.] – К. : АСВ, 2008. – 482 с.
40. Николаевский В. Н. Механика пористых и трещиноватых сред / В. Н. Николаевский. – М. : Недра, 1984. – 232 с.
41. Остроумов Б. В. Применение буронабивных свай в фундаменте башенного сооружения в сложных грунтовых условиях // Б. В. Остроумов, Р. Е. Ханин. // ОФМГ. – 2006. – № 5. – С. 26–29.
42. Рекомендации по применению буроинъекционных свай. – М. : НИИОСП, 1984. – 47 с.
43. Лучкин М. А. Расчет осадок зданий и сооружений на слабых глинистых грунтах с учетом деформаций сдвига во времени / М. А. Лучкин, В. М. Улицкий, А. Г. Шаликин, К. Г. Шаликин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 2. – С. 13–17.
44. Романов Д. А. Фундаменты под объекты Украинского государственного музея истории Великой Отечественной войны / Д. А. Романов, Г. Н. Кислый // ОФМГ. – 1982. – № 4. – С. 8–10.
45. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения : СНиП 1.02.07-87. – М. : Стройиздат, 1988.
46. Основания зданий и сооружений : СНиП 2.02.01-83. – М. : Стройиздат, 1985. – 41 с.
47. Свайные фундаменты : СНиП 2.02.03-85. – М. : Стройиздат, 1985.
48. Соколовский В. В. Теория пластичности / В. В. Соколовский. – М. : Высшая школа, 1969. – 608 с.

49. Тейлор Д. Основы механики грунтов / Д. Тейлор. – М. : Госстройиздат, 1960. – 597 с.
50. Ильюшин А. А. Труды (1946–1966). : в тт. Т. 2 : Пластичность / А. А. Ильюшин ; сост. Е. А. Ильюшина, М. П. Короткина. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 480 с.
51. Тер-Мартirosян З. Г. Взаимодействие свайного фундамента с грунтом / З. Г. Тер-Мартirosян, З. Н. Нгуен, А. Н. Динь // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2007. – № 2. – С. 2–7.
52. Филатов А. В. Применение свай-колонн на строительстве Карагандинского металлургического комбината / А. В. Филатов, Б. Я. Швец // ОФ и МГ. – 1971. – № 2. – С. 35–37.
53. Федоровский В. Г. Предельное давление на ряд ленточных фундаментов и эффект «непродавливания» / В. Г. Федоровский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2006. – № 3. – С. 9–14.
54. Харин Р. Е. Техничко-экономическое обоснование выбора конструкций свай и свайного фундамента / Р. Е. Харин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1976. – № 1. – С. 13–16.
55. Харр М. Е. Основы теоретической механики грунтов / М. Е. Харр. – М. : Из-во литературы по строительству, 1971. – 320 с.
56. Цитович Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цитович. – М. : Высшая школа, 1968. – 258 с.
57. Шапиро Д. М. Упруго-пластичный анализ несущей способности оснований реконструируемых объектов методом конечных элементов / Д. М. Шапиро, Н. Н. Мельничук // ОФ и МГ. – 2007. – № 2. – С. 18–21.
58. Швецов Г. И. Основания и фундаменты / Швецов Г. И. – М. : Высшая школа, 1991. – 357 с.
59. Шукле Л. Геологические проблемы механики грунтов / Л. Шукле. – М. : Стройиздат, 1976. – 485 с.
60. Abovskiy N. P. Energy principle and its application for the creation of controlled structures/ N. P. Abovskiy // Spatial structures in new and renovation projects of Building and construction. Proceeding international congress ICSS – 98 / June 22 – 26, Moscow. Russia. 1998. – P. 307 – 311.

61. Drucker D. C. Soil mechanics and plastic analysis or limit design. Quarterly Applied Mathematics / D. C. Drucker, W. Prager. – 1952. – № 2. – C. 10.
62. Drucker D. C. Soil mechanic and work – hardening theories of plasticity / D. C. Drucker, R. E. Gibson, D. S. Henkel. – Frans. Amer. Soc. Civ. Eng., 1957.
63. Timoshenko S., Resistance des materiaux, t. 1, Paris, Librairie Politechnique Beranger, 1949.
64. Melan E. Der Spannungszustand der durch eine Einzelkraft im innern beanspruchten Halbscheibe, Z. Angew. Math. Mech. 12, 343-346 (1932).
65. Mindlin R. D., Force at a point in the interior of a semi-infinite solid, Physics 7, 195-202 (1936).
66. Reisner H. Initial stresses and sources of initial stresses. ZAMP, 1931. BdII, S 1-8.

Наукове видання

**Моргун Алла Серафимівна
Плясовиця Віталій Юрієвич**

**ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОГНОЗУВАННЯ
ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ДЕФОРМУВАННЯ ОСНОВИ БУРОНАБИВНИХ
ТА БУРОІН'ЄКЦІЙНИХ ПАЛЬ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено авторами

Підписано до друку 15.05.2017 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 5,08.
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № 2017-11

Вінницький національний технічний університет,
ІРВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.

press.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.