

## МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ СУСІДНІХ ПАЛЬ

*Виконано чисельне моделювання польового експерименту з послідовного навантаження сусідніх палей. Показано величину додаткового осідання палей після навантаження сусідніх. Здійснено порівняння результатів різних моделей ґрунтової основи при чисельному моделюванні роботи системи «основа – фундаменти» та доведена їх збіжність з експериментальними даними. Досліджено особливості роботи ґрунту в просторі між палями.*

**Ключові слова:** взаємовплив палей, експеримент, моделювання.

*Выполнено численное моделирование полевого эксперимента по последовательному нагружению соседних свай. Показана величина дополнительной осадки свай после нагружения соседних. Осуществлено сравнение результатов различных моделей ґрунтового основания при численном моделировании работы системы «основание – фундаменти» и доказана их сходимость с экспериментальными данными. Исследованы особенности работы ґрунта в пространстве между сваями.*

**Ключевые слова:** взаимовлияние свай, эксперимент, моделирование.

*The numerical simulation of experiment on the load sequence adjacent piles. Shown the value of the additional settlements piles after loading neighboring piles. Completed application comparing different models base reasons for the numerical simulation of the system "base - foundation", and their convergence with the experimental data. Features of the soil in the space between piles.*

**Keywords:** interactions piles, experiment, simulation.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Будівництво нових будівель поряд з існуючими часто супроводжується виникненням негативних проявів взаємовпливу фундаментів, що проявляються у вигляді додаткових осідань, кренів, розкриття тріщин. Проектування сусідніх об'єктів вимагає прийняття рішення про типи та розміри фундаментів споруд, урахування взаємного впливу сусідніх будівель як у процесі будівництва, так і в стадії експлуатації. У зв'язку зі значним навантаженням, що передається на ґрунтову основу, найчастіше в якості фундаментів застосовуються пальові фундаменти, що забезпечує передачу основної частини навантаження через підшву палей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Питання взаємовпливу фундаментів висвітлені у працях А.О. Бартоломія [1], Б.І. Далматова [2], С.М. Сотникова [3] та інших.

Аналітично можна визначити розподіл напружень у пружному напівпросторі для сили, що заглиблена, використовуючи розв'язок задачі Міндліна. Для прямокутних заглиблених площ Н.М. Дорошкевич складено

відповідні таблиці залежностей зміни напруження від глибини та віддалення точки. Однак застосування цього підходу допускає виникнення у масиві розтяжних зусиль, що не відповідає реальній поведінці ґрунту.

Існуючі будівельні норми [4] рекомендують використовувати метод кутових точок для оцінки взаємного впливу фундаментів, що у випадку складної у плані геометрії та, можливо, різної глибини залягання фундаментів робить процес підрахунку за методом кутових точок малоефективним.

Інженерні методи розрахунку взаємовпливу фундаментів не дають необхідної точності та деталізації напружено-деформованого стану (НДС) елементів системи «основа – фундаменти», тому в практику сьогодні широко ввійшло використання чисельного моделювання.

**Виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** Для ефективного моделювання взаємовпливу сусідніх фундаментів необхідно застосовувати такі моделі, де враховується фізична нелінійність ґрунту, послідовність навантаження фундаментів, історія деформування ґрунтової основи, зміна властивостей ґрунту під час навантаження, просторова робота конструкцій. Дане дослідження присвячене порівнянню результатів чисельного моделювання роботи сусідніх паль при застосуванні різних моделей ґрунтової основи системи «основа – фундаменти» та доведенню їх збіжності з експериментальними даними.

**Метою** даної роботи є дослідження взаємного впливу фундаментів на прикладі двох паль із п’ятою у вигляді штампів при послідовному їх навантаженні.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основою для чисельного моделювання є експеримент, описаний у роботі [5], суть якого полягає у послідовному навантаженні сусідніх паль із вимірюванням рівня додаткового осідання раніше навантажених паль та тим самим виявлення їх взаємного впливу.

Палі квадратного перерізу 350x350 мм довжиною 7,5 м із п’ятою у вигляді наконечника, що розкривається, розмірами 1400x350 мм. Детальні розміри, розміщення паль та інженерно-геологічний розріз майданчика досліджень показані на рисунку 1, а фізико-механічні властивості ґрунтів основи – у таблиці 1.

Випробування паль проводилося за стандартною методикою з послідовним навантаженням паль у такому порядку:

1. Навантаження палі №1 до 1200 кН. Покрокова фіксація осідання.
2. Підтримання навантаження на палі №1 із наступним навантаженням палі №2 до 1200 кН та вимірюванням додаткового осідання.
3. Повторення дослідження за аналогією з парою паль №2 і №3.

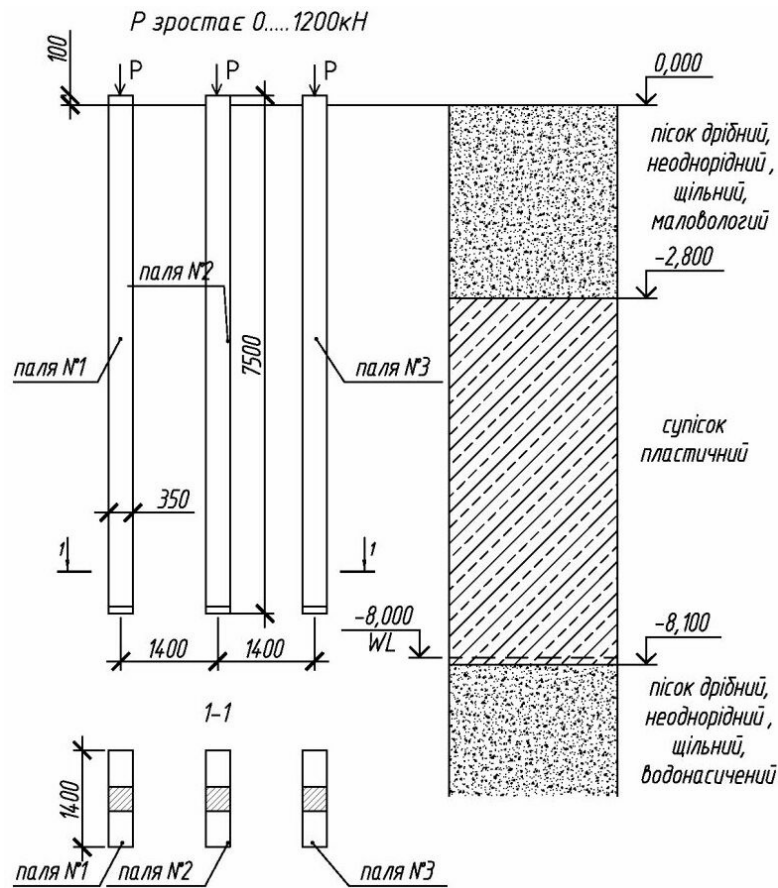


Рис. 1. Схема розміщення палей та інженерно-геологічні умови дослідного майданчика

У результаті польового експерименту отримані такі результати: первинне осідання палі №1 склало 15 мм, після навантаження палі №2 осідання палі №1 збільшилося на 3,1 мм (на 20%). Для палі №2 та №3 аналогічно: осідання 16 мм приріст 3,5 мм (на 22%).

Спочатку з використанням аналітичних розв'язків для пружного напівпростору визначено осідання палі при навантаженні 1200 кН, воно склало 36 мм, а скориставшись методом кутових точок, визначили додаткове осідання при навантаженні сусідньої палі, що становить ще 6 мм.

Надалі виконано чисельне моделювання роботи елементів системи «основа – фундаменти» за допомогою автоматизованої системи наукових досліджень «ВЕСНА» у тривимірному просторі. Для моделювання процесів нелінійного деформування ґрунтів використано модель фізично нелінійного пружно-пластичного ґрунтового середовища, що базується на дилатансійній теорії професора В.М. Ніколаєвського [6]. При описанні пружно-пластичного деформування ґрунтового середовища приріст деформацій складається з приросту пружних та пластичних деформацій. Для визначення пластичних деформацій використовується неасоційований закон пластичної течії. У якості умови пластичної течії застосовується критерій Мізеса – Шлейхера – Боткіна, модифікований професором І.П. Бойком [7], для збільшення збіжності результатів моделювання з експериментальними даними у широкому діапазоні навантажень. З метою порівняння результатів моделювання також використано моделі лінійно деформованого ґрунтового середовища та пружно-пластичну модель із критерієм міцності Кулона –

Мора, що широко застосовуються в програмних комплексах геотехнічного та інженерного проектування.

**Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості ґрунтів основи**

№	Найменування	Позначення	Один. виміру	Пісок дрібний	Супісок пластичний
1	Природна щільність	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	1940	1960
2	Щільність частинок	$\rho_s$	кг/м <sup>3</sup>	2650	2670
3	Природна вологість	w		0,07	0,197
4	Вологість на межі розкочування	w <sub>p</sub>			0,171
5	Вологість на межі текучості	w <sub>L</sub>			0,201
6	Модуль деформації	E	МПа	48	18,8
7	Кут внутрішнього тертя	$\phi$	град.	36	25
8	Питоме зчеплення	c	МПа	0,001	0,01

Отримавши результати моделювання групи паль, зможемо застосовувати модель ґрунту, що дає задовільну збіжність результатів з експериментом для моделювання поведінки складних систем [8].

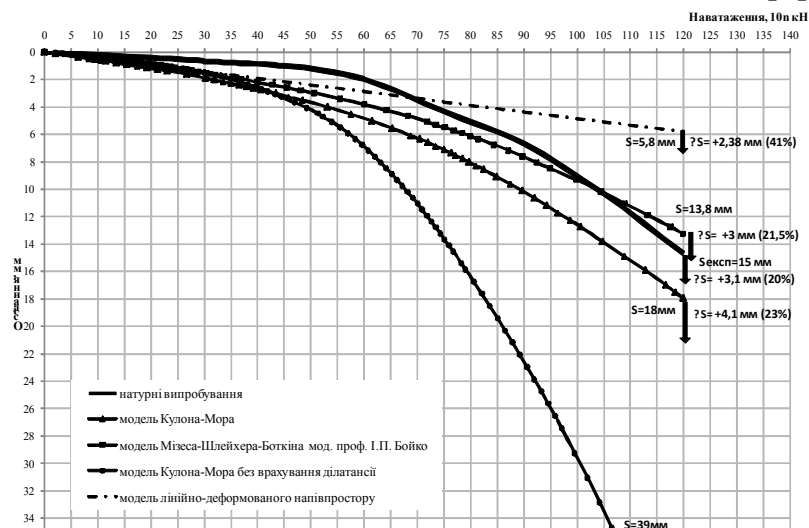


Рис. 2. Графік «навантаження – осідання» взаємодії паль для різних моделей ґрунту

Застосування моделі лінійно деформованого напівпростору при чисельному моделюванні дає первинне осідання палі 5,8 мм та приріст після навантаження сусідньої палі ще 41%.

Застосування пружно-пластичної моделі ґрунту з критерієм міцності Кулона – Мора показує збільшення деформацій із приростом навантаження та в результаті осідання палі складає 18 мм, а остаточне осідання після навантаження сусідньої палі склало 22,1 мм. При цьому неврахування ефекту дилатансії ґрунту призводить до значного осідання – 39 мм.

Аналізуючи результати чисельного моделювання, помічено, що ґрунт у просторі між палями осідає не однаково: у верхній та нижній третині палі осідання складає 60%, а у середині 20 – 30% від максимального їх осідання.

Графіки зміни осідання від навантаження для різних моделей ґрунту та експериментальні дані подані на рис. 2.

#### **Висновки з даного дослідження:**

1. Показано, що застосування інженерних методів розрахунку взаємовпливу фундаментів не забезпечує збіг значення осідань фундаментів з експериментальним, що може відрізнятись у 2 рази.

2. Чисельне моделювання взаємовпливу фундаментів дозволяє отримати результати взаємовпливу фундаментів на всіх етапах навантаження.

3. Установлено, що для даної задачі застосування при моделюванні пружно-пластичної моделі ґрунту Кулона – Мора призводить до перебільшення деформацій порівняно з натурними випробуваннями на 20 – 25%.

4. Показано, що неврахування ефекту дилатансії ґрунту не забезпечує отримання достовірних даних чисельного моделювання.

5. Виявлено, що при розміщенні паль на відстані, меншій ніж 5d, ґрунт у просторі між палями по їх висоті осідає з різними значеннями від 20 до 60% від величини осідання паль.

6. Показано, що застосування моделі ґрунту, котра базується на дилатансійній теорії проф. В.М. Ніколаєвського із критерієм умови пластичної течії Мізеса – Шлейхера – Боткіна, модифікованим проф. І.П. Бойком, забезпечує отримання результатів, які узгоджуються з експериментальними даними, збіжність із результатами натурних експериментів у широкому діапазоні навантажень. Відхилення від експерименту при експлуатаційних навантаженнях 10 – 15%.

#### *Література*

1. Бартоломей А.А. Прогноз осадок свайных фундаментов/А.А. Бартоломей, И.М. Омельчак, Б.С. Юшков. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
2. Далматов Б.И. Проектирование и устройство фундаментов около существующих зданий / Б.И. Далматов. – Л.: ЛДНТП, 1973.
3. Сотников С.Н. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений: (опыт строительства в условиях Северо-Запада СССР) / С.Н. Сотников, В.Г. Симагин, В.П. Вершинин, под ред. С.Н. Сотникова. – М.: Стройиздат, 1986. – 96 с.
4. СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
5. Бойко И.П. Исследование работы забивных свай с раскрывающимся наконечником: дис. ... канд. техн. наук. 05.23.02 / Бойко Игорь Петрович. – К., 1969. – 161 с.
6. Николаевский В.Н. Современные проблемы механики грунтов/ В.Н. Николаевский // Определяющие законы механики грунтов. – М.: Стройиздат, 1975. – С. 210 – 227.
7. Finite element simulation of the loss of stable resistance in a foundation-soil system / I.P. Boyko, V.S. Boyandin, A.E. Delnik, A.L. Kozak, A.S. Sakharov // Archive of Applied Mechanics. – 1992. – № 62. – P. 316 – 328.
8. Носенко В.С. Напружено-деформований стан пальново-плитних фундаментів багатопверхових секційних будинків / В.С. Носенко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – Вип. 19. – С. 150 – 152.

Надійшла до редакції 2.06.2009

© В.С. Носенко