

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ ОСІДАНЬ ПАЛЬ ДЛЯ УТОЧНЕННЯ ЇХ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовані існуючі в різних нормах методики розрахунку несучої здатності та осідань палей різних типів і порівняні їх результати з даними статичних випробувань палей в натурних умовах.

Виконане математичне моделювання роботи палей за допомогою програмного комплексу PLAXIS 3D Foundation. Результати моделювання також порівняні з даними натурних випробувань палей. Доведено, що результати визначення несучої здатності палей у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation доцільно використовувати у проектній практиці для корегування значень, визначених теоретичним шляхом за рекомендаціями норм.

Надані рекомендації щодо удосконалення результатів розрахунків осідання палей за розрахунковою схемою умовного фундаменту.

Ключові слова: палей, осідання, умовний фундамент, пружне середовище, напружено-деформований стан, чисельне моделювання

Annotation

The methods of calculation of bearing capacity and pile settlements of different types are analyzed in different standards and their results are compared with the data of static pile tests in field conditions.

Mathematical modeling of pile work was performed with the help of the PLAXIS 3D Foundation software complex. The simulation results are also comparable to those of the field pile tests. It is proved that the results of determining the bearing capacity of piles in the software complex Plaxis 3D Foundation is appropriate to use in design practice to adjust the values determined theoretically by the guidelines.

Recommendations for improvement of the results of calculations of settling of piles according to the calculation scheme of the conditional foundation are given.

Keywords: piles, sedimentation, conditional foundation, resilient environment, stress-strain state, numerical modeling

Вступ

Незважаючи на тривалий досвід застосування палейових фундаментів та значну кількість досліджень взаємодії палей з ґрунтом, методи розрахунків одиночних палей та палейових фундаментів за першою та другою групами граничних станів мають недостатню достовірність. В окремих випадках похибка у визначенні несучої здатності, F_d , і осідання палей, s , сягає 300 % [1, 2].

Спрощеність розрахункових схем, призначених для ручних розрахунків, призводить до невідповідності отриманих за розрахунками величин даним натурних спостережень. Тобто актуальною проблемою залишається удосконалення методики визначення несучої здатності та осідання палей при вертикальному навантаженні.

При статичних випробуваннях палей граничний опір визначають як навантаження, під впливом якого осідання палей дорівнює одній п'ятій від граничного значення середнього осідання фундаменту проектованої будівлі, але не більше 40 мм. При наявності достовірної теоретичної методики визначення залежності осідання палей від навантаження такий прийом можна було б застосувати для уточнення несучої здатності палей, визначеної за емпіричними формулами норм.

У даній роботі поставлені задачі:

1. Проаналізувати результати статичних випробувань різних видів палей з визначенням ступіню перевищення (або неперевикнення) несучої здатності у порівнянні з визначеною за нормами.
2. Побудувати розрахункові схеми роботи палей у ґрунті, визначити осідання палей за різними методами.

3. Виконати математичне моделювання роботи паль різних типів під навантаженням за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D Foundation. Виконати верифікацію одержаних результатів.
4. Порівняти осідання паль, визначеного у програмному комплексі Plaxis 3D, з осіданням, визначеним за різними методами норм та дослідним шляхом.
5. Визначити несучу здатність паль різних типів за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D Foundation в різних ґрунтових умовах при різних геометричних параметрах паль.
6. Визначити економічний ефект від застосування програмного комплексу Plaxis 3D Foundation для визначення несучої здатності паль.

Результати дослідження

Під час досліджень були використані:

- 1) результати польових випробувань паль методом статичних вдавлюючих навантажень у комплексі з результатами інженерно-геологічних вишукувань будівельних майданчиків;
- 2) аналітичні методи українських норм [3];
- 3) аналітичні методи російських норм [4, 5];
- 4) програмний комплекс Plaxis 3D Foundation.

Були використані результати статичних випробувань бурових, буроін'єкційних, забивних та вдавлюваних паль, виконаних у Науково-дослідному інституті будівельного виробництва, Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій м. Київ, ЧП «Регіонспецбуд» м. Харків та матеріали дисертаційної роботи Преснякова О. Б. [6].

Розглянуті результати натурних випробувань 4 бурових паль, 3 буроін'єкційних, 2 забивних паль та 4 вдавлюваних паль з 12-ти різних майданчиків. Райони випробувань знаходяться в таких містах: м. Київ, с. Чайка Київської області та м. Харків. Майданчики мали різні ґрунтові умови з спиранням паль як на піщані, так і на глинисті ґрунти. Випробовувались палі різної довжини. Довжини паль знаходяться в діапазоні від 5,5 до 33,4 м. Діаметр ствола паль знаходиться в межах від 0,35 м до 0,83 м, одна з бурових паль має розширення в зоні нижнього кінця. Забивні палі мають переріз 0,3x0,3 м, вдавлювані палі - 0,3x0,3 та 0,35x0,35 м [2].

Виконано порівняння осідань паль за даними випробувань з осіданнями, визначеними за рекомендованими чинними нормативними документами інженерними методиками України [2] та Росії [3, 4] а також за результатами моделювання роботи паль під навантаженням за допомогою Plaxis 3D Foundation.

За результатами випробувань та розрахунків будувались графіки осідання-навантаження для всіх дослідних паль.

Для прикладу на рис. 1 - 3 наведені результати розрахунків для буронабивної палі по вул. Чернігівська м. Бобровиця Київської області. Палі буронабивна діаметро 350 мм, довжиною 10 м.

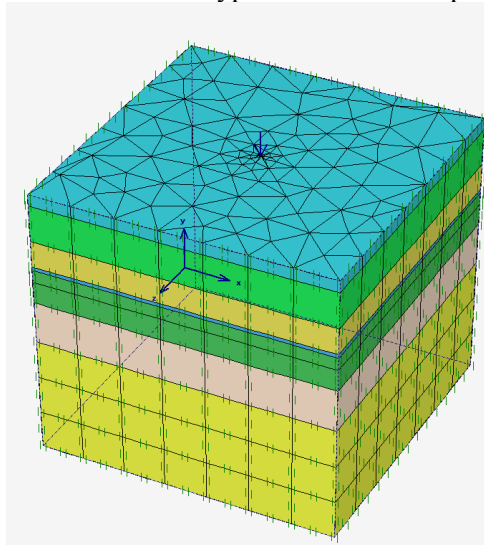


Рис. 1 – Модель ґрунтового масиву $a \times b \times h = 30 \times 30 \times 30$ м. Бобровиця

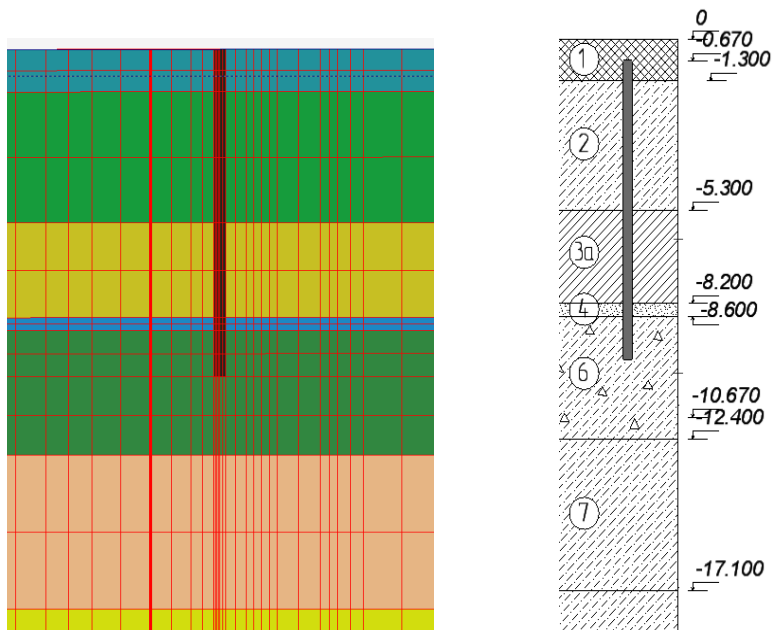


Рис. 2 – Геологічний розріз по місцю влаштування палі. Бобровиця

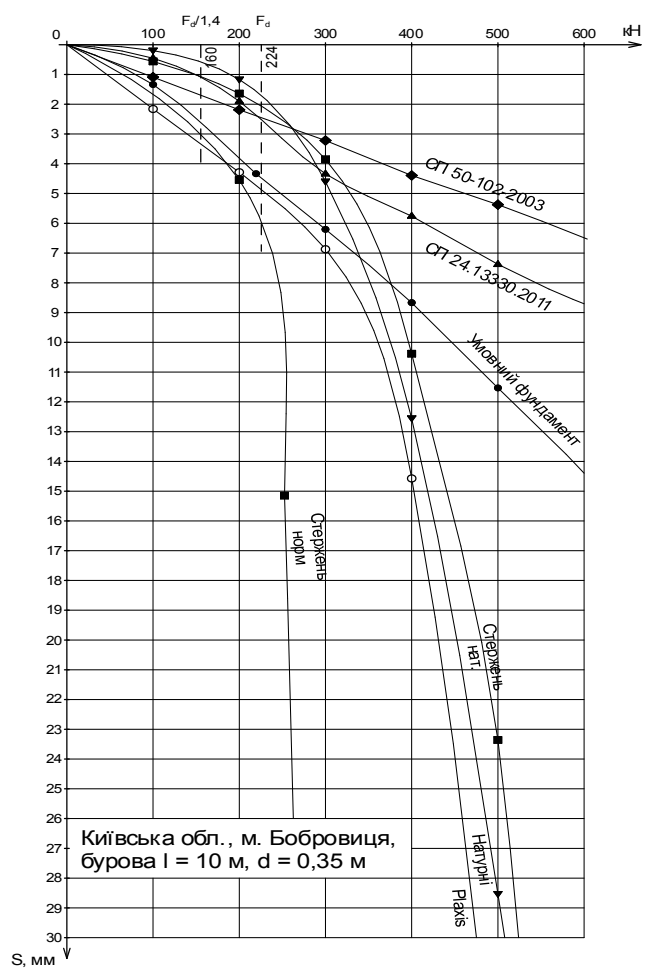


Рис. 3– Залежність осідання від навантаження, визначена за різними методиками для буронабивної палі по вул. Чернігівська м. Бобровиця Київської області

Метод стержня в пружному півпросторі, запропонований українськими нормами [1, 3], враховує нелінійний характер деформацій основи палі за межами межі пропорційності, решта теоретичних методів засновані на пружній моделі ґрунту незалежно від прикладеного навантаження.

Аналіз використання метода стержня в пружному півпросторі показав, що добру збіжність з результатами натурних випробувань він дає як раз для забивних паль довжиною до 10 м. Для бурових паль, особливо великої довжини, метод дає завищені значення.

Метод умовного фундаменту переважно дає завищені значення осідань на початкових стадіях навантаження палі, але при наближенні до граничного значення навантаження дає прийнятні для практики прогнози величини осідання. Недоліком методу є те, що при відсутності дослідних даних статичного випробування палі граничне значення навантаження визначається доволі приблизно з імовірною значною похибкою.

Методи російських норм мають такі самі недоліки, як і метод умовного фундаменту.

Осідання різних видів паль, визначені за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D Foundation, є переважно більшими за осідання, отримані при польових випробуваннях, і лише в окремих випадках є заниженими у порівнянні з результатами польових випробувань.

Несуча здатність паль теоретичним шляхом визначалась за рекомендаціями [3]. Допустиме навантаження на палю приймалось з урахуванням коефіцієнту $\gamma_k = 1,4$. Навантаження, яке може витримати конкретна паля за аналізом залежностей осідання – навантаження, визначалося при досягненні межі осідання $s = 20$ мм.

У таблиці 1 наведені результати порівняння несучої здатності, визначеної за теоретичними методиками і за результатами моделювання в Plaxis 3D Foundation з результатами статичних випробувань. Різниця у відсотках подана відносно результатів статичних випробувань.

За результатами розрахунків можна зробити такі висновки.

1. Теоретичні методи визначення несучої здатності паль, закладені в нормах [3], дають похибку від +40 до – 69%. Найбільше відхилення в бік недоврахування несучої здатності спостерігається для вдавлюваних паль.

2. Теоретичні методи розрахунку осідань, засновані на лінійних залежностях осідання – навантаження, не можуть бути використані для визначення несучої здатності паль.

3. Результати розрахунку осідань за методом стержня в пружному півпросторі дають суттєво занижені значення несучої здатності.

4. Результати математичного 3D моделювання є достатньо коректними при будь-яких видах паль, геологічних умовах.

5. Результати визначення несучої здатності паль у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation доцільно використовувати у проектній практиці для корегування значень, визначених теоретичним шляхом за рекомендаціями норм [3].

Результати дослідження [7] дозволили запропонувати спосіб удосконалення методики визначення осідання паль за розрахунковою схемою умовного фундаменту, який можна рекомендувати проектувальникам.

Враховуючі недоліки методу стержня в пружному півпросторі при відсутності результатів статичних випробувань паль, можна рекомендувати використовувати методику визначення осідання паль за розрахунковою схемою умовного фундаменту, але при цьому в якості модуля деформації під нижнім кінцем палі в межах глибини 4d приймати не природний модуль деформації за результатами інженерно-геологічних вишукувань, а значення приведенного модуля деформації, визначеного за рекомендаціями методики стержня в пружному півпросторі.

Для більшості випадків застосування приведенного модуля деформації наближає результати розрахунків до фактично замірених осідань.

Для реалізації результатів досліджень було виконане математичне моделювання роботи палі під колону торгівельного центру у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation. При проектуванні за методикою норм була одержана потрібна довжина паль 16,6 м. За результатами математичного моделювання довжину палі вдалося скоротити до 14 м.

Техніко-економічне порівняння двох варіантів свідчить про те, що влаштування конструктивного рішення з використанням моделювання палі у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation є більш економічним варіантом, оскільки цей варіант має найменший показник приведених витрат – 12,869 тис. грн., а тому економічний ефект – 2,22 тис. грн. у порівнянні з дорожчим варіантом будівництва – 15,088 тис. грн.

Таблиця 1 - Результати порівняльних розрахунків несучої здатності паль різними методами з даними статичних випробувань натурних паль

№ до сліду	Майданчики розміщення дослідних паль	Грунт під нижнім кінцем палі	Грунти по бічній поверхні палі	Несуча здатність палі F_d , кН [3]	Несуча здатність палі, кН, при осіданні $s = 20$ мм					
					при натурних випробуваннях	за методом умовного фундаменту	за методом стержня в пружному півпросторі	за СП 50-102-2003	за СП 24.133-30.2011	За результатами моделювання в Plaxis 3D
Бурові палі										
1	м. Київ, Печерський р-он, Спортивна площа, ІС-1 (l=33,4 м; d = 0,83/1,60 м)	Глина, $I_L = 0,17$; $E = 22$ МПа	Пісок пил., суглинок, пісок сер.	<u>8580</u> +4%	8250	8400	5000	5000	1000	<u>3900</u> -53%
2	“ ІС-2 (l=10,8 м; d = 0,83 м)	Пісок пил., щільний, $E=20$ МПа	Суглинок, пісок сер.	<u>942</u> -44%	1680	2150	930	2280	-	<u>1350</u> -20%
3	Київська обл., м. Бобровиця, ІС-1 (l =10,0 м; d = 0,35 м)	Супісок з вкл. жорстви, $I_L = 0,76$; $E = 25$ МПа (через 2,0 м $E=8,2$ МПа)	Супісок, суглинок	<u>224</u> -50%	450	-	270	-	-	<u>430</u> -4%
4	Київська обл., с. Чайка (l=20,0 м; d = 0,62 м)	Пісок сер. крупн., $E=35$ МПа	Пісок сер. крупн.	<u>2975</u> +19%	1400 (при $s = 7,84$ мм)	-	2800	-	-	<u>1800</u> -28%
Буроін'єкційні палі										
5	м. Київ, Печерський р-он, вул. Мечникова, ІС-2 (l=23,0 м; d = 0,62 м)	Глина, $I_L = 0,11$; $E = 30$ МПа	Супісок, пісок пил., суглинок	<u>3065</u> -44%	5000 (при $s = 15,17$ мм)	4600	2800	4600	4300	<u>5500</u> 0%
6	м. Київ, Голосіївський р-он, вул. Трутенко, ІС-1 (l=16,0 м; d = 0,62 м)	Глина тверда, $I_L < 0$; $E = 20$ МПа	Супісок, пісок дрібн.	<u>2002</u> -33%	2100 (при $s = 3,49$ мм)	2160	1900	2500	-	<u>>3000</u> 0 %
7	м. Київ, Дарницький р-он, вул. Григоренко, ІС3-3 (l=16,0 м; d =	Пісок різнозерн., щільний, $E=32$ МПа	Пісок пилуватий	<u>2415</u> +42%	1700	-	-	-	-	<u>2250</u> +32%

	0,62 м)									
--	---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продовження таблиці 1

№ до сліду	Майданчики розміщення дослідних паль	Грунт під нижнім кінцем палі	Грунти по бічній поверхні палі	Несуча здатність палі за методикою норм [2] F_d , кН	Несуча здатність палі, кН, при осіданні $s = 20$ мм					
					при натурних випробуваннях	за методом умовного фундаменту	за методом стержня в пружному півпросторі	за СП 50-102-2003	за СП 24.133.30.201	За результатами моделювання в Plaxis 3D
Забивні палі										
8	м. Харків, пров. Рогатинський, ОЗС 3 (l=8,4 м; d=0,3x0,3 м)	Глина, $I_L = 0,17$; $E = 14$ МПа	Суглинок, пісок дрібн.	<u>902</u> +6%	850	950	920	900	-	<u>≥1000</u> +18%
9	м. Київ, Дарницький район, вул. Бажана, ИСЗ-3 (l=9,85 м; d=0,3x0,3м)	Пісок дрібний, $E=29$ МПа	Пісок дрібний	<u>793</u> -10%	880	-	840	-	-	<u>≥900</u> +20%
Вдавлювані палі										
10	м. Київ, вул Фізкультури, майд.№2, паля №3 (l=8,0 м; d=0,3x0,3 м)	Пісок дрібний, сер. щільн. $E=17$ МПа	Суглинок	<u>389</u> -69%	1250	670	500	1050	850	<u>1000</u> -20%
11	м. Київ, вул Тургенівська, майд. №9, паля №1 (l=16,6 м; d=0,35x0,35 м)	Пісок дрібний, сер. щільн. $E=25$ МПа	Суглинок, супісок	<u>1609</u> -11%	1800 (при $s = 10,24$ мм)	-	1450	-	-	<u>≥1900</u> 0%
12	м. Київ, вул Вербова, майд.№5, паля №1 (l=5,5 м; d=0,3x0,3 м)	Пісок дрібний, сер. щільн. $E=24$ МПа	Пісок дрібний, супісок	<u>370</u> -60%	870	930	460	1050	1030	<u>720</u> -21%
13	м. Київ, вул Бориспільська, майд. №1, паля №3 (l=8,0 м; d=0,35x0,35 м)	Пісок дрібний, сер. щільн. $E=20$ МПа	Пісок дрібний	<u>589</u> -44%	1050	-	650	-	-	<u>≥1300</u> +29%

Висновки

1. Осідання одиночних паль під дією навантаження, рівного несучій здатності ґрунту її основи F_d , визначені за рекомендаціями чинних нормативів, у більшості випадків перевищують дослідні на величину 20 -200%. Для довгих паль на піщаних ґрунтах теоретичні значення осідань занижені.

2. Характер кривих розрахункових осідань, отриманих за рекомендаціями чинних нормативів, за виключенням методу стержня в пружному півпросторі, лінійний, що не відповідає дійсному графіку осідань. Така невідповідність може призвести до значних похибок у визначенні деформованого стану споруд.

3. Метод умовного фундаменту переважно дає завищені значення осідань на початкових стадіях навантаження палі, але при наближенні до граничного значення навантаження дає прийнятні для практики прогнози величини осідання.

4. Аналіз використання метода стержня в пружному півпросторі показав, що добру збіжність з результатами натурних випробувань він дає для забивних паль довжиною до 10 м. Для бурових паль, особливо великої довжини, метод дає завищені значення. Однією з причин таких результатів є низька точність теоретичних методів визначення несучої здатності палі (P_u) та межі пропорційності на графіку осідання – навантаження (P_e), заснованих на теоретичному значенні допустимого навантаження на палю F_d .

5. Для удосконалення результатів розрахунків осідання паль за розрахунковою схемою умовного фундаменту рекомендується в якості модуля деформації під нижнім кінцем палі в межах глибини $4d$ приймати не природний модуль деформації за результатами інженерно-геологічних вишукувань, а значення приведенного модуля деформації, визначеного за рекомендаціями методики стержня в пружному півпросторі.

6. Теоретичні методи визначення несучої здатності паль, закладені в нормах [3], дають похибку від +40 до – 69%. Найбільше відхилення в бік недоврахування несучої здатності спостерігається для вдавлюваних паль.

7. Результати математичного 3D моделювання у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation є достатньо коректними при будь-яких видах паль, геологічних умовах.

8. Результати визначення несучої здатності паль у програмному комплексі Plaxis 3D Foundation доцільно використовувати у проєктній практиці для корегування значень, визначених теоретичним шляхом за рекомендаціями норм [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мелашенко Ю. Б. Взаємодія палових фундаментів з ґрунтовою основою при вертикальному навантаженні: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.02 / Ю.Б. Мелашенко; Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК). - Київ, 2009. - 20 с.

2. Шевчук В.В., Маєвська І.В. Порівняльний аналіз різних методик визначення осідання паль /*Енергоефективність в галузях економіки України*. Тези доповіді міжнародн. н/т конф. (Вінниця, 12-14 листопада 2019 р.), Вінниця, ВНТУ, 2019, URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/paper/viewFile/8262/6945>.

3. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. - [Чинний від 2012-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 161 с. – (Національні стандарти України).

4. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов» - М.: Госстрой России, 2004. – 102 с.

5. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты : актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – [Введен в действие с 2011–05–20]. – М.: Минрегион России, 2010. – 48 с.

6. Пресняков О. Б. Несуча здатність вдавлюваних паль у піщаних та глинистих ґрунтах: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.02 / Київський національний університет будівництва і архітектури, 2004. 222 с.

7. Шевчук В.В., Маєвська І.В. Удосконалення методики визначення осідання паль за розрахунковою схемою умовного фундаменту. Тези доповіді XLIX міжнародн. н/т конф. ВНТУ м. Вінниця, ВНТУ, 2020 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9059>.

Шевчук Василь Васильович — магістрант гр. Б-18мі, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет. Вінниця, e-mail: viyys2009@ukr.net.

Науковий керівник: **Ірина Вікторівна Масєвська** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: irina_mayevskaja@gmail.com.

Vasyl Shevchuk - Master hr. B-18mi, Department of construction of thermal power and gas, Vinnytsia National Technical University.

Supervisor **Irina V. Majewska** - candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.