

## **ОЦІНКА ДОПУСТИМОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОДИНОЧНУ ПАЛЮ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ ЗА УКРАЇНСЬКИМИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ НОРМАМИ**

Корнієнко М.В.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Карпенко Д.А., Заварзіна І.Ю.

ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Розглянуто підходи визначення допустимого навантаження на одиночну палу великого діаметру з розширенням та без розширення за українськими та європейськими нормами. Побудовано ґрунтову модель фундаментів у програмному комплексі Plaxis 3D.

**АННОТАЦИЯ:** Рассмотрены подходы к определению допустимой нагрузки на одиночную сваю большого диаметра с уширением и без уширения за украинскими и европейскими нормами. Построена грунтовая модель фундаментов в программном комплексе Plaxis 3D.

**ABSTRACT:** The approaches determine the bearing capacity on single pile of large diameter with broadening and without broadening for Ukrainian and European norms are considered. Soil foundation model was powered in Plaxis 3D.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Допустиме навантаження, паля великого діаметру, паля з розширенням, ґрунтовий масив.

### **ВСТУП**

На практиці існують труднощі при пошуку більш точних об'єктивних параметрів величин для визначення несучої здатності палі. Особливо це стосується палі збільшеної довжини ( $L > 40$  м) та діаметру ( $> 600$  мм). При випробуваннях таких палі за методикою Остерберга [6] використовують спеціально обладнані комірочки для визначення напружень та переміщень нижнього кінця та бічної поверхні палі. Тобто для висячих бурових палі, що заглиблені на значній глибині, показники опору

визначаються окремо, і на графіку навантажень будується дві криві функції  $S=f(N)$  для верхньої та нижньої частини стовбура палі. Потім криві приводяться до сумарної кривої функції навантаження.

Більшість українських будівельних фірм не мають спеціального обладнання для визначення несучої здатності паль великого діаметру за такою методикою. При використанні за звичайних умов двох - трьох домкратів із системою вантажних балок можна випробувати тільки палі діаметром до 1020 мм. Але, такі визначення допустимого навантаження на одиночну палю потребують затрат як технічних, так і людських.

За нормативним документами [1, 2] не можна в достатній мірі забезпечити достовірну оцінку допустимого навантаження на одиночну палю великого діаметру. Отже і величина несучої здатності також не завжди є вірним критерієм для визначення показників осідання і переміщення ґрунтового масиву.

В деяких випадках при випробуваннях паль великого діаметру отримують досить різні величини допустимого навантаження на палю по відношенню до розрахункових. Такі різниці можуть коливатися в рази.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛЬ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ PLAXIS 3D

Одним із сучасних та ефективних підходів при визначенні напружено-деформованого стану фундаментів і їх взаємодії з основою є моделювання у програмному комплексі Plaxis 3D. Програмний комплекс дає можливість збільшити кількість точок контролю при різному навантаженні за допомогою розбиття ґрунтового масиву на окремі елементи. При цьому таке розбиття може мати різний характер сітки: від нещільної до дуже щільної. Даний підхід дає можливість точніше (при розбитті окремого елемента в масиві) визначити значення осідання, переміщення та напруженого стану елемента в будь-якій точці масиву.

Розглянемо приклади взаємодії палі і ґрунтового масиву.

Приклад 1. Паля довжиною 22,8 м, діаметр стовбура - 500 мм і діаметр розширення - 1600 мм з обпиранням на несучий шар ґрунту - пісок дрібний, щільний (рис. 1).

Модель ґрунту нелінійна, пружно-пластична, розраховується по схемі Мора-Кулона. Шари ґрунту на схемі представлені шарами ПЕ1-ПЕ11. Кожний із них має свої характеристики:  $\gamma$  – питома вага,  $k_f$  – коефіцієнт фільтрації,  $\psi$  – кут дилатації; параметри пружності:  $E$  – модуль деформації,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона; параметри міцності:  $c$  – питома зчеплення,  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя. Крім цього, стан ґрунту приймається як дренажований чи не дренажований.

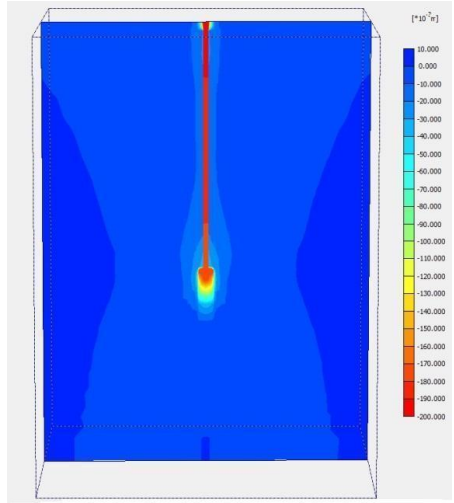
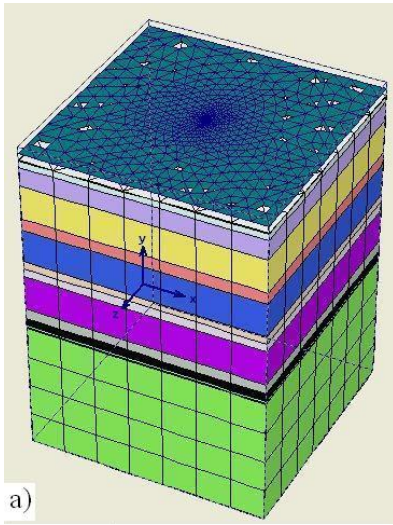


Рис. 1. Розрахункова модель палі з розширенням:  
 а) деформована модель ґрунту; б) вертикальні переміщення  $U_y$

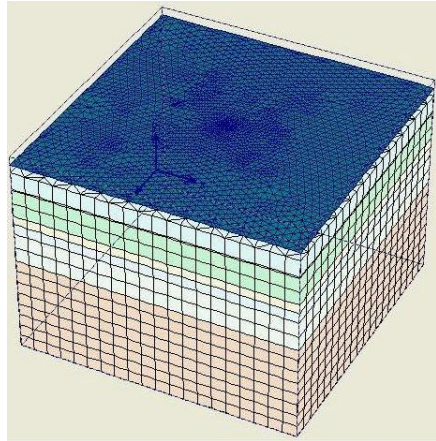


Рис. 2. Деформована модель ґрунту

На палю прикладаємо зосереджене навантаження у вигляді одиночної сили. Виконавши розбиття моделі сіткою в 2D, а потім в 3D, переходимо безпосередньо до розрахунку схеми по фазах. В першій фазі розрахунку визначаємо осідання ґрунту від власної ваги, а в другій фазі

розраховується осідання від навантаження на палю в ґрунтовому масиві. Отримуємо результати у вигляді вертикального переміщення палі з розширенням (рис. 1).

Осідання палі складає 19,34 мм при навантаженні в 4000 кН.

Приклад 2. Палю довжиною 13,8 м і діаметром 820 мм спирається на несучий шар ґрунту – мергельну глину (рис. 2).

З метою більш точного рішення, сітку в межах ґрунтового масиву біля самої палі розбиваємо на менші елементи. Отримуємо величини значення вертикальних переміщень (рис. 3).

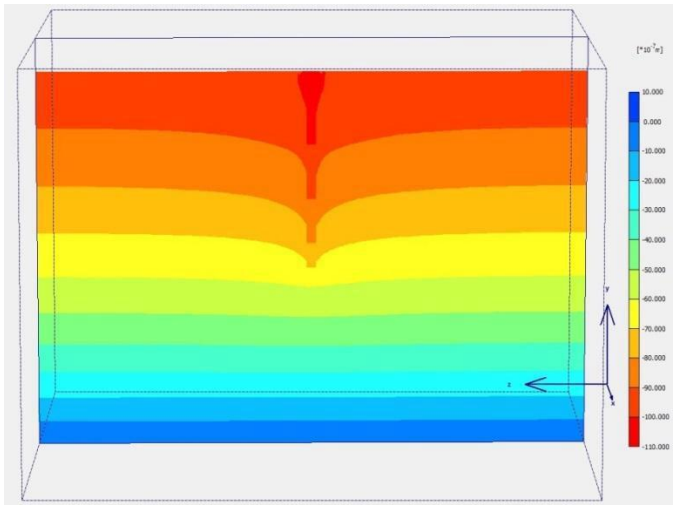


Рис. 3. Вертикальні переміщення  $U_y$

Величина осідання палі складає 10,9 мм при навантаженні на палю 2700 кН.

## ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОДИНОЧНОЇ ПАЛІ ЗА УКРАЇНСЬКИМИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ НОРМАМИ

Було розглянуто приклади палей великого діаметру з розширенням та палі без розширення. Фізико-механічні характеристики ґрунтів для палі з розширенням наведено в табл. 1.

Несприятливі умови для будівництва фундаментів викликають лесові ґрунти. Такі шари ґрунту мають властивості просідати при замочуванні від власної ваги [4]. Тому доцільним було прорізати нестійкі

шари ґрунту палями і з обпиранням на надійну основу – пісок дрібний, щільний.

Таблиця 1

№ ПЕ	Найменування ґрунту	Показники пластичності, доп. од.			Природна вологість, $W$ доп. од.	Коефіцієнт пористості, $e$ доп. од.	Коефіцієнт волонасічності $S_r$ , доп. од.	Показник текучості $I_L$ , доп. од.		Питома вага ґрунту, $\gamma_{H2O}$	Модуль деформації ґрунту $E$ , МПа		Кут внутрішнього тертя, $\phi$ , град.	Пітоме зчеплення, $c$ , кПа	Відносне просідання при природному тиску, $\epsilon_e$	Початковий тиск просідання $P_{a0}$ , кПа
		$W_L$	$W_p$	$I_p$				природної вологості	при волонасічненні		природної вологості	волонасіченого				
ПЕ-1а	насіпний ґрунт	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ПЕ-2	лесовий суглинок	0.30	0.21	0.09	0.16	1.01	0.43	-0.56	1.63	15.33	3.6	1.7	18	23	-	63
ПЕ-3	лесовий супісок	0.24	0.19	0.05	0.07	0.83	0.23	-2.40	2.04	15.47	33.5	4	25	8	-	123
ПЕ-4	лесовий суглинок	0.29	0.20	0.09	0.13	0.86	0.41	-0.78	1.15	16.13	17	2.7	22	16	0.019	104
ПЕ-5	лесовий супісок	0.24	0.20	0.04	0.09	0.83	0.29	-2.75	2.37	16.57	28.5	5	24	7	0.033	113
ПЕ-6	лесовий суглинок	0.35	0.23	0.12	0.17	0.77	0.60	-0.50	0.34	17.54	23	6.6	23	16	0.026	154
ПЕ-7	лесовий супісок	0.28	0.20	0.08	0.18	0.71	0.60	-0.25	0.81	18.03	21	9	20	16	0.031	93
ПЕ-8	лесовий суглинок	0.37	0.23	0.14	0.21	0.73	0.77	-0.14	0.21	18.64	21.5	10.4	19	31	0.016	243
ПЕ-9	глина	0.44	0.26	0.18	0.21	0.70	0.82	-0.27	-0.11	19.03	19	-	22	33	-	-
ПЕ-10	пісок	-	-	-	0.10	0.54	0.60	-	-	18.64	41	-	38	3	-	-
ПЕ-11	глина	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-	17	43	-	-

Примітка. Кут внутрішнього тертя та пітоме зчеплення приведено для водонасіченого стану ПЕ-2...8 та при природній вологості ПЕ-10

Було випробувано палю при її завчасному замочуванні з врахуванням можливого розвитку довантажувальних сил тертя за методикою [7]. В даному випадку сили тертя між ґрунтом і палею, а також ущільненим масивом мають протилежний напрямок. Їх ще називають - “від’ємним тертям”, “негативним тертям”, “навантажуючим тертям”.

Крива залежності  $S=f(N)$  за результатами випробування одиночних паль на стиск (рис. 4).

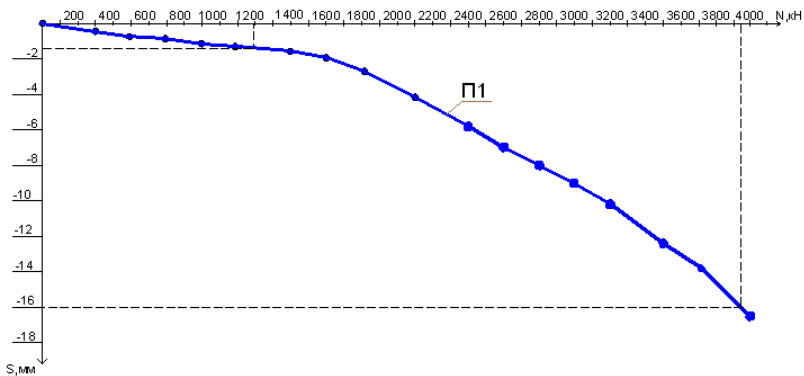


Рис. 4. Графік залежності  $S=f(N)$  для палі із розширенням

Фізико-механічні характеристики ґрунтів для палі без розширення приведено в табл. 2.

Таблиця 2

№ ПГЕ	Найменування ґрунту	Розрахункові показники							Щільність, т/м <sup>3</sup>	Кут внутр. тертя, град.
		Показники пластичності дол. од.			Коеф. пористості	Пито-ме зчеп., МПа	Модуль деф., МПа	Коеф. фільт. м/добу		
		$W_p$	$I_p$	$I_L$						
1	Насипний ґрунт	-	-	-	-	0,018 0,006	-	-	1,55 1,58	21 18
2	Делювіально-зсувні ґрунти	-	-	<0,5 >0,5	0,75 0,77	0,003 0,002	16 11	0,001	1,90 1,96	16 12
3	Супісок	-	0,04	>1	0,60	0,006	16	0,5	1,85	21
4	Суглинок	-	0,10	<0,5	0,57	0,040	20	0,05	1,88	19
5	Суглинок	-	0,17	<0,3	0,79	0,090	24	0,009	1,94	16
6	Глина	-	0,30	<0,3	0,80	0,098	30	0,005	1,93	18

Крива залежності  $S=f(N)$  за результатами випробування одиночних паль на стиск (рис. 5).

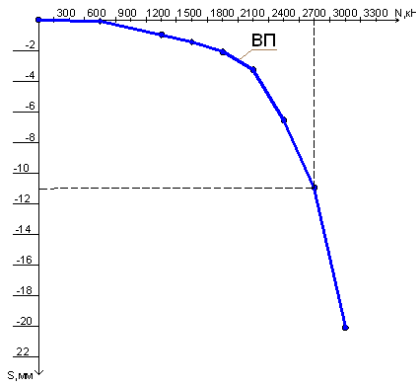


Рис. 5. Графік залежності  $S=f(N)$  для палі без розширення

З графіка видно, що є наявність зони пластичних деформацій.

Для оцінки отриманих результатів із розрахунків в Plaxis 3D порівняємо їх із значеннями результатів з випробуваннями паль на будівельних майданчиках. Різниця осідань для палі без розширення складає 0,26 мм, а для палі з розширенням – 3,39 мм.

Незначна різниця вказує на доцільність використання результатів, отриманих за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D при визначенні допустимого навантаження на одиночну палю. Але при визначенні несучої здатності у випадку палі з розширенням, яку визначено при випробуваннях - 1190 кН згідно графіка осідання складає 1,5 мм. Неправильна попередня оцінка викликана тим, що при випробуванні величина осідання складає 1...9 мм, що не вказує на вичерпання несучої здатності палі.

Визначено величину несучої здатності за українськими та європейськими підходами [1, 3, 5] і зроблено порівняльну оцінку (табл. 3).

Таблиця 3

Назва об'єкта	Довжина $l$ , м, діаметр $d$ палі, м	Несуча здатність $F_{d1}$ , кН за випроб.	Несуча здатність $F_{d2}$ , кН за PN-83/B-02482	Несуча здатність $F_{d3}$ , кН за ДБН	Несуча здатність $F_{d4}$ , кН за EN 7	Різниця % 3-4	Різниця % 3-5	Різниця % 3-6
Торгівел центр в м. Запоріжжі	$l = 22,8$ м, стовб. - $\varnothing 0,5$ м, розшир. - $\varnothing 1,6$ м	1190	1267	1521	1039	-6,5	-27,8	+12,6
Кожеміяцька 10 ж м. Київ	$l = 13,8$ м, стовб. - $\varnothing 0,82$ м	2700	2839	2482	2923	-5,2	+8,1	-8,3

За результатами розрахунків палі різної конфігурації отримуємо значення +12,6% і +8,1%, для палі з розширенням та палі без розширення відповідно. В такому випадку несуча здатність повністю не реалізована.

При випробуванні палі з розширенням проводилися до повного зриву палі. Тому дані показники із різницею в -27,8% бралися з запасом із врахуванням замоченого стану.

## ВИСНОВОК

Основною задачею розрахунків системи “основа – пальовий фундамент” є можливість підбору параметрів масиву за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D.

Було розглянуто випадок палі із розширенням, в якому наявність вичерпання величини несучої здатності, не завжди є показником вичерпання навантаження.

Європейські норми передбачають, як розраховувати довантажувальні сили тертя, але не враховують їх природу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. – К.: Мінбуд України, 2011. – 56 с. (Зміна №1 Палі і пальові фундаменти).
2. Палі. Визначення несучої здатності за результатами пальових випробувань: ДСТУ Б В.2.1-27:2010. – К.: Мінбуд України, 2011. – 12 с.
3. Геотехнічне проектування. Частина 1. Загальні правила: ДСТУ-Н Б En:1997-1:2010 Єврокод 7 (EN 1997-1:2004, IDK).
4. Крутов В.И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах / Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. - М.: Издательство АВС, 2013. – 539 с.
5. Standard Test Method for Individual Piles in Permafrost Under Static Axial Compressive Load 1: D 5780-95. – А.: Society for testing and materials. – 14 р.
6. Корнієнко М.В. про особливості використання методу Остерберга при випробуванні паль великого діаметру / Корнієнко М.В., Дворнік С.О., Заварзіна І.Ю. – П.: Мінбуд України. – Вип. - 4, Том 2, 2012. - С. 113-120.
7. Ґрунти. Методи польових випробувань палями: ДСТУ Б.В.2.1-1-95. – К.: Мінбуд України, 2000. – 20 с.

Стаття надійшла до редакції 23.09.2013 р.