

Врахування коефіцієнту пористості ґрунтів для визначення опору по бічній поверхні бурових паль

Ірина Маєвська¹, Наталя Блащук²

^{1,2}Віницький національний технічний університет
95, Хмельницьке шосе, Вінниця, Україна, 21000,

¹ irina.mayevskaja@gmail.com, orcid.org/ 0000-0001-5999-6824

² vernatav@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9764-0271

DOI: 10.32347/0475-1132.38.2019.53-64

Анотація. Проаналізований вплив коефіцієнту пористості піщаних та глинистих ґрунтів на несучу здатність бурових паль. При вирішенні поставленої задачі були використані результати статичних випробувань бурових та буроін'єкційних паль, виконаних у Науково-дослідному інституті будівельного виробництва та Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій м. Київ. Розглянуті результати натурних випробувань 17-ти бурових паль з 10-ти різних майданчиків та 38-ми буроін'єкційних паль з 10-ти різних майданчиків. Аналізувався граничний опір паль різної довжини та діаметру, розміщених у різних ґрунтах.

Для розв'язання поставленої задачі використовувалася геотехнічний програмний комплекс «Plaxis 3D Foundation», за допомогою якого моделювався напружено-деформований стан бурової палі в пісках різної крупності та щільності та глинистих ґрунтах різних видів з показниками текучості 0,2; 0,3; 0,5 та 0,6. Побудовано графіки залежності та проаналізовано вплив коефіцієнта пористості піщаних та глинистих ґрунтів на несучу здатність бурової палі довжиною до 10 м. Встановлено, що при зменшенні коефіцієнта пористості несуча здатність бурової палі збільшується у всіх випадках. Порівняння несучої здатності, визначеної з врахуванням коефіцієнта пористості, з несучою здатністю, визначеною за чинними нормами, показало, що результат, одержаний за нормами, відповідає верхній межі діапазону змінення коефіцієнта пористості, а отже при меншому значенні коефіцієнту пористості нормами закладений резерв міцності.

В результаті проведеного математичного моделювання отримані нові таблиці для визна-



Ірина Масвська

доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури
к.т.н., доц.



Наталя Блащук

доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури
к.т.н., доц.

чення опору ґрунту по боковій поверхні бурових паль з врахуванням коефіцієнту пористості. Результати розрахунків з використанням запропонованих таблиць порівняні з результатами статичних випробувань бурових паль. Результати показали кращу відповідність дослідним даним у порівнянні з методикою норм. Розроблені таблиці дозволяють встановити більш достовірну розрахункову величину несучої здатності бурових паль. Врахування коефіцієнту пористості при визначенні несучої здатності бурових паль в піщаних та глинистих ґрунтах дозволяє реалізувати резерви несучої здатності таких паль, закладені в чинних нормах при низьких значеннях коефіцієнту пористості, і одержати більш економічне рішення. Крім цього це дає змогу зменшити кількість дослідних паль, які підлягають статичному випробуванню на будівельному майданчику.

Ключові слова. ґрунтова основа, паля, коефіцієнт пористості, несуча здатність палі.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Найважливішим резервом підвищення ефективності бурових паль є вдосконалення методів визначення їх несучої здатності на стадії проектування. Питання про резерв несучої здатності бурових паль стало актуальним, коли їх стали широко застосовувати. Особливо це стосується великих міст, де зводяться висотні будинки.

Накопичений досвід випробувань бурових паль як в Україні, так і за її межами свідчить про те, що несуча здатність паль, розрахована за формулами і таблицями норм, виявляється нижчою фактичною несучою здатністю, визначеною за результатами статичних випробувань, причому іноді до 2-3 разів. Отже, методика визначення несучої здатності бурових паль потребує удосконалення.

В українських нормах [1] для визначення несучої здатності паль малої довжини (до 3,0 м) вихідним параметром для таблиць і формул крім показника текучості для глинистих ґрунтів і крупності піщаних ґрунтів є їх коефіцієнт пористості.

В таблицях норм для довгих паль наведені значення опору під нижнім кінцем (R) і по боковій поверхні (f) тільки в залежності від показника текучості для глинистих ґрунтів і крупності піщаних ґрунтів. Діапазон зміни коефіцієнту пористості є досить широким, що впливає на опір палі зануренню.

Це означає, що величини R і f повинні мати конкретні значення у всіх діапазонах зміни коефіцієнта пористості. Тим більше, ніяких сумнівів про взаємозв'язок щільності ґрунту з його деформаційними і характеристиками міцності не виникає [2].

МЕТА РОБОТИ

У даній роботі поставлена задача проаналізувати вплив коефіцієнту пористості різних ґрунтів на несучу здатність бурових паль та удосконалити методику визначення

несучої здатності паль за рахунок врахування величини коефіцієнту пористості [3,4,5].

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

При вирішенні поставленої задачі були використані результати статичних випробувань бурових паль, виконаних у Науково-дослідному інституті будівельного виробництва та Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій м. Київ. Розглянуті результати натурних випробувань 17-ти бурових паль з 10-ти різних майданчиків. Райони випробувань знаходяться в таких містах: м. Київ, м. Бровари та м. Бориспіль, м. Запоріжжя, м. Рівне. Майданчики мали різні ґрунтові умови.

Випробувались палі різної довжини. Довжини паль знаходяться в діапазоні від 2 до 12,0 м. Діаметр ствола паль знаходиться в межах від 0,4 м до 0,83 м. Навантаження, яке може витримати конкретна бурова паля визначалося при досягненні межі осідання $s = 40$ мм.

Використані також результати статичних випробувань буроін'єкційних паль, виконаних у Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій м. Київ. Розглянуті результати натурних випробувань 38-ми буроін'єкційних паль з 10-ти різних майданчиків. Дослідні будівельні майданчики розташовані у м. Бровари, м. Феодосія, м. Хмельницький та у м. Київ. Ґрунтові умови також відрізняються різноманітністю.

Довжини паль знаходяться в діапазоні від 6 до 23 м. Палі мають незмінний переріз. Діаметр ствола паль знаходиться в межах від 0,42 м до 1,0 м. На відміну від вибірки для бурових паль, більшість польових випробувань були виконані як контрольні (до досягнення навантаження, передбаченого проектом), при цьому досягнуте осідання часто далеке від граничного значення (часто не досягало і 10 мм). Лише в декількох випадках навантаження, яке може витримати конкретна буроін'єкційна паля, визначалося при досягненні межі осідання s

= 40 мм. Це свідчить про те, що результати випробувань показують меншу несучу здатність палі, ніж вони мають насправді.

На рис. 1 представлені результати порівняння несучої здатності бурових та буроін'єкційних палі, визначеної розрахунком за методикою норм [1] з використанням таблиці Н.2.2, та несучої здатності за результатами польових випробувань статичним навантаженням. На горизонтальній осі даного графіку показана несуча здатність палі F , визначена за результатами статичних випробувань, а по вертикальній осі - несуча здатність F_1 , розрахована відповідно до норм. Діагональна пунктирна лінія на графіку відповідає ідеальному збігу результатів розрахунку і випробувань.

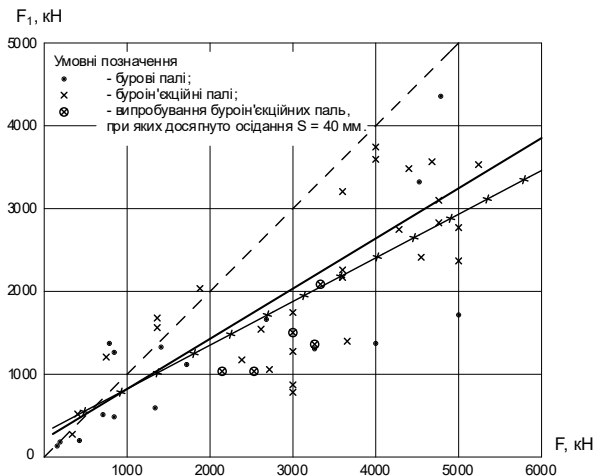


Рис. 1. Графік відповідності розрахованої несучої здатності палі F_1 і несучої здатності, визначеної на підставі результатів статичних випробувань F

Fig.1. Graph of the compliance of the calculated bearing capacity of the F_1 piles and the bearing capacity determined on the basis of the results of static tests F

Коефіцієнт запасу (F/F_1) несучої здатності у порівнянні з розрахунком за нормами складає до 3,7 для палі, що спираються на піщані ґрунти, і до 1,44 для палі, що спираються на глинисті ґрунти. При низьких коефіцієнтах пористості запас значний, а при високих низький або відсутній.

Перспективним напрямком досліджень напружено-деформованого стану (НДС) системи «палі – ґрунтове середовище» є вико-

ристання методів математичного моделювання на основі чисельних методів аналізу. В даній роботі напружено-деформований стан бурової палі та осідання від навантаження моделювались з використанням геотехнічного програмного комплексу «Plaxis 3D Foundation».

Програма визначення несучої здатності палі та впливу на неї вертикального навантаження передбачала наступні етапи:

- створення розрахункової схеми палі в ґрунті;
- врахування коефіцієнта умов роботи для піщаних або глинистих ґрунтів;
- дослідження несучої здатності бурової палі;
- побудова графіків залежності «осідання-навантаження».

При моделюванні були прийняті наступні передумови і параметри:

- модель ґрунту основи – пружно-пластична модель Кулона-Мора;
- модель фундаменту – бурова паля $l = 10$ м, $\varnothing 0,5$ м;
- розміри розрахункової області в плані 20×20 м;
- за навантаження, що сприймається палею, приймається значення зовнішнього навантаження без урахування ваги палі, при якому граничні деформації досягають 40 мм.

Моделльні експерименти виконувались у піщаних ґрунтах з фізико-механічними характеристиками, наведеними у таблиці №1, та глинистих ґрунтах з фізико-механічними характеристиками наведеними у таблиці №2. Представлені піски різної крупності та супіски, суглинки та глини, розділені на групи за показником текучості та коефіцієнтом пористості. Складена добірка враховує весь діапазон можливих властивостей глинистих ґрунтів згідно з таблицями чинних норм [1].

У таблиці 3 наведені результати розрахунку несучої здатності палі для обраних ґрунтів за методиками, запропонованими нормами [1], та за результатами чисельного

моделювання у «Plaxis 3D Foundation». При визначенні несучої здатності за нормами опір під нижнім кінцем паль у піщаних грунтах обчислювався за формулою (Н.3.2) з врахуванням кута внутрішнього тертя та питомої ваги ґрунту, а опір по бічній поверхні або та таблицею Н.2.2, або за формулою (Н.2.2) (як функція характеристик міцності).

Табл. 1. Фізико-механічні характеристики піщаних ґрунтів

Table 1. Physical and mechanical characteristics of sandy soils

№ випробування	Назва ґрунту	Фізико-механічні характеристики ґрунту			
		e	c , кПа	φ , °	E , МПа
1	Крупні піски	0.45	2	43	50
2		0.55	1	40	40
3		0.65	0	38	30
4	Піски середньої крупності	0.45	3	40	50
5		0.55	2	38	40
6		0.65	1	35	30
7	Мілкі піски	0.45	6	38	48
8		0.55	4	36	38
9		0.65	2	32	28
10		0.75	-	28	18
11	Пилуваті піски	0.45	8	36	39
12		0.55	6	34	28
13		0.65	4	30	18
14		0.75	2	26	11

Оскільки характеристики міцності залежать від коефіцієнта пористості, то несуча здатність, визначена за методиками норм, вже має непряму залежність від щільності ґрунтів. При використанні опору по бічній поверхні, визначеного за формулою (Н.2.2), ця залежність якісно аналогічна залежності, яка має місце при чисельному моделюванні. При використанні опору по бічній поверхні, визначеного за таблицею Н.2.2, ця залежність значно менша, оскільки обумовлена лише опором під нижнім кінцем палі для піщаних ґрунтів.

Недоліком використання формули (Н.2.2) для визначення опору по бічній поверхні бурових паль є те, що загальна несуча здатність виявляється заниженою (вона менша за несучу здатність, визначену за допомогою таблиці Н.2.2, яка в свою чергу переважно нижча за результати польових досліджень, що показано на рис. 1.

Отже, доцільно використовувати для визначення несучої здатності бурових паль таблицю, аналогічну таблиці Н.2.2, але з врахуванням впливу коефіцієнта пористості.

Результати, отримані при чисельному моделюванні, показали, що при збільшенні коефіцієнта пористості несуча здатність бурової палі зменшується на 30-68%.

На рис. 2 показано залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості крупних пісків та пісків середньої крупності. З рис. 2 видно, що при збільшенні коефіцієнта пористості від $e=0,45$ до $e=0,65$, несуча здатність бурової палі зменшується на 30%-33%.

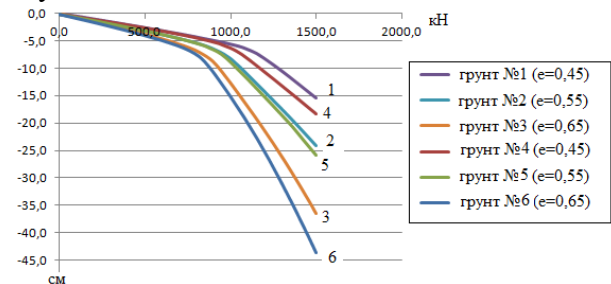


Рис.2. Залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості крупних пісків та пісків середньої крупності

Fig.2. Dependence of the bearing capacity of the drill bit on the coefficient of porosity of large sands and sands of medium size

На рис. 3 наведено залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості мілких та пилуватих пісків. Помітно, що несуча здатність бурової палі зменшується на 55%-68% при зростанні коефіцієнта пористості від $e=0,45$ до $e=0,75$.

В результаті проведених випробувань, отримали залежність несучої здатності бурових паль від коефіцієнта пористості піщаних ґрунтів. При збільшенні коефіцієнта пористості від $e=0,45$ до $e=0,75$ несуча здатність палі зменшується від 30-68%.

Табл. 2. Фізико-механічні характеристики глинистих ґрунтів
Table 2. Physical and mechanical characteristics of clay soils

№ випробування	Назва ґрунту	Фізико-механічні характеристики ґрунту				
		IL	e	c, кПа	φ, °	E, МПа
1	Супіски	0 ≤ I _L ≤ 0,25	0,45	21	30	32
2			0,55	17	29	24
3			0,65	15	27	16
4			0,75	13	24	10
5		0,25 < I _L ≤ 0,75	0,45	19	28	32
6			0,55	15	26	24
7			0,65	13	24	16
8			0,75	11	21	10
9			0,85	9	18	7
10			0,95	7	15	5
11	Суглинки	0 ≤ I _L ≤ 0,25	0,45	47	26	34
12			0,55	37	25	27
13			0,65	31	24	22
14			0,75	25	23	17
15			0,85	22	22	14
16		0,95	19	20	11	
17		0,25 < I _L ≤ 0,5	0,45	39	24	32
18			0,55	34	23	25
19			0,65	28	22	19
20			0,75	23	21	14
21			0,85	18	19	11
22		0,95	15	17	8	
23		0,5 < I _L ≤ 0,75	0,65	25	19	17
24			0,75	20	18	12
25	0,85		16	16	8	
26	0,95		14	14	6	
27	1,05		12	12	5	
28	Глини	0 ≤ I _L ≤ 0,25	0,55	81	21	28
29			0,65	68	20	24
30			0,75	54	19	21
31			0,85	47	18	18
32			0,95	41	16	15
33		1,05	36	14	12	
34		0,25 < I _L ≤ 0,5	0,65	57	18	21
35			0,75	50	17	18
36			0,85	43	16	15
37			0,95	37	14	12
38	1,05		32	11	9	
39	0,5 < I _L ≤ 0,75	0,65	45	15	17	
40		0,75	41	14	15	
41		0,85	36	12	12	
42		0,95	33	10	9	
43		1,05	29	7	7	

Табл. 3. Порівняння несучої здатності бурової палі, визначеної за методиками норм та при чисельному моделюванні у «Plaxis 3D Foundation» для піщаних ґрунтів

Table 3. Comparison of the bearing capacity of the drill pile, determined by the norm methodology and numerical simulation in the "Plaxis 3D Foundation" for sandy soils

Назва ґрунту	Фізико-механічні характеристики ґрунту				Несуча здатність палі за формулою Н.2.2 ДБН, кН	Несуча здатність палі за таблицею Н.2.2 ДБН, без врахування +30% для щільних пісків, кН	Несуча здатність палі за таблицею Н.2.2 ДБН, з врахуванням +30% для щільних пісків, кН	Несуча здатність палі по Plaxis, кН
	e	c, кПа	φ, °	E, МПа				
Крупні піски	0.45	2	43	50	1498.3	1736.7	1909.8	1740
	0.55	1	40	40	1463.1	1736.7	1736.7	1393
	0.65	0	38	30	1103.3	1405.5	1405.5	1095
Піски середньої крупності	0.45	3	40	50	1476.3	1736.7	1909.8	1651
	0.55	2	38	40	1299.7	1590.9	1590.9	1282
	0.65	1	35	30	868.3	1192.5	1192.5	989
Міlkі піски	0.45	6	38	48	1313.9	1404	1526.6	1503
	0.55	4	36	38	925.9	1049	1171.6	1182
	0.65	2	32	28	571.9	743.3	743.3	833
	0.75	-	28	18	355.7	577.7	577.7	556
Пилуваті піски	0.45	8	36	39	1014	995.3	1084	1301
	0.55	6	34	28	761.8	773.8	862.5	968
	0.65	4	30	18	510.7	533.8	533.8	665
	0.75	2	26	11	339.3	443.7	443.7	481

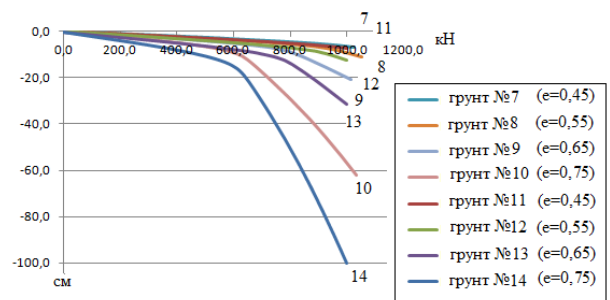


Рис. 3. Залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості мілких та пилуватих пісків

Fig.3. Dependence of the bearing capacity of the drill bit on the coefficient of porosity of shallow and dusty sands

Табл. 4. Порівняння несучої здатності бурової палі, визначеної за методиками норм та при чисельному моделюванні у «Plaxis 3D Foundation» для глинистих ґрунтів

Table 4. Comparison of the bearing capacity of a drill pile, determined by the norm methodology and numerical simulation in "Plaxis 3D Foundation" for clay soils

№ випробування	Назва ґрунту	I_L	Несуча здатність палі за формулою Н.2.2 ДБН, кН	Несуча здатність палі за таблицею Н.2.2 ДБН, кН	Несуча здатність палі за програмним комплексом, кН
1	Супіски	$0 \leq I_L \leq 0,25$	679,8	905,0	1118,83
2			503,2	772,5	938,3
3			420,9	718,7	763,21
4			347,1	671,3	593,1
5			489,8	406,3	1026,46
6		$0,25 < I_L \leq 0,75$	403,5	361,7	826,04
7			347,1	331,8	665,57
8			288,1	318,9	508,63
9			261,7	318,9	393,82
10			662,9	701,3	1570,3
11	Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	568,3	683,7	1295,2
12			503,2	671,3	1111,6
13			437,5	658,4	930,3
14			406,8	658,4	700
15			367,2	658,4	822,5
16			558,1	503,2	1360
17		$0,25 < I_L \leq 0,5$	501,3	490,3	1176,5
18			455,1	490,3	977,64
19			404,6	490,3	816,5
20			356,2	490,3	828,72
21			314,5	490,3	677,3
22			411,2	249,6	840,14
23		$0,5 < I_L \leq 0,75$	358,4	249,6	761,6
24			316,7	249,6	538,6
25			283,7	249,6	441,2
26			257,3	249,6	360,1
27	Глини	$0 \leq I_L \leq 0,25$	748,4	576,0	1808,7
28			667,4	576,0	1564
29			561,9	576,0	1325,2
30			511,0	576,0	1169,3
31			458,3	576,0	1009
32			411,2	576,0	858
33		$0,25 < I_L \leq 0,5$	575,1	431,9	1340
34			522,3	431,9	1185
35			467,7	431,9	1038
36			416,8	431,9	871,4
37			362,2	431,9	706,72
38			475,2	225,6	1062,48
39		$0,5 < I_L \leq 0,75$	443,2	225,6	962,11
40			396,1	225,6	818,4
41			364,1	225,6	700,3
42			315,1	225,6	568,78

У результаті проведеного чисельного моделювання отримали графіки залежності несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості і для глинистих ґрунтів. На рис. 4 показано залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості супісків при показнику текучості $0 \leq I_L \leq 0,25$

0,25 (рис. 4, а) та показнику текучості $0,25 < I_L \leq 0,75$ (рис. 4, б). Помітно, що при збільшенні коефіцієнта пористості від $e=0,45$ до $e=0,85$ несуча здатність палі зменшується.

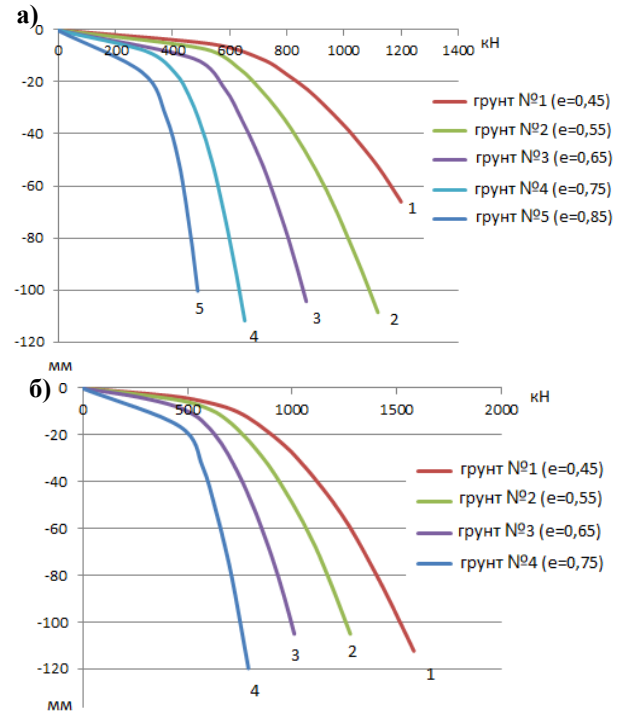


Рис. 4. Залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості супісків: а- при показнику текучості $0 \leq I_L \leq 0,25$; б- при показнику текучості $0,25 < I_L \leq 0,75$

Fig.4. Dependence of the bearing capacity of the drill bit on the coefficient of porosity of the soils: a- for $0 \leq I_L \leq 0,25$; b- for $0,25 < I_L \leq 0,75$

На рис. 5 показано залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості суглинків при показнику текучості $0 \leq I_L \leq 0,25$ (рис. 5, а); показнику текучості $0,25 < I_L \leq 0,5$ (рис. 5, б) та показнику текучості $0,5 < I_L \leq 0,75$ (рис. 5, в). З рис. 5 можна спостерігати вплив коефіцієнта пористості у різних діапазонах показника текучості ґрунту.

Вплив коефіцієнта пористості на несучу здатність палі у глинах показано на рис. 6. При показнику текучості $0 \leq I_L \leq 0,25$ (рис. 6, а); показнику текучості $0,25 < I_L \leq 0,5$ (рис. 6, б) та показнику текучості $0,5 < I_L \leq 0,75$ (рис. 6, в). При збільшенні коефіцієнта пористості від $e=0,55$ до $e=1,05$ несуча здатність палі зменшується.

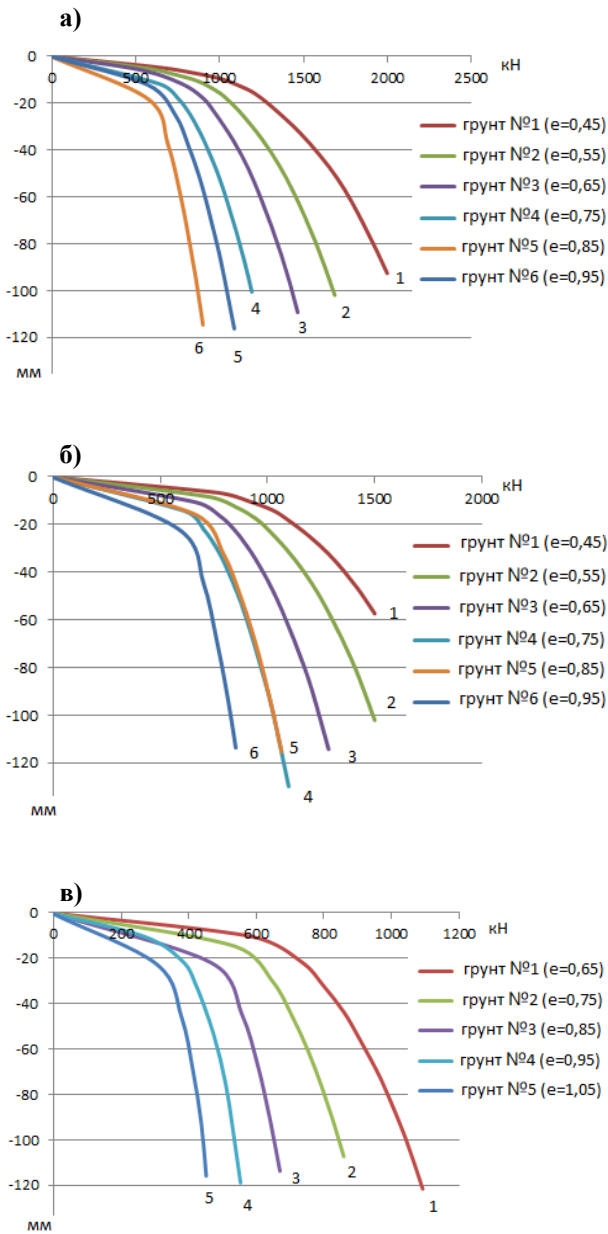


Рис. 5. Залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості суглинків: а - при показнику текучості $0 \leq I_L \leq 0,25$; б - при показнику текучості $0,25 < I_L \leq 0,5$; в - при показнику текучості $0,5 < I_L \leq 0,75$
 Fig.5. Dependence of the bearing capacity of the drill bit on the coefficient of porosity of loams: а - for $0 \leq I_L \leq 0,25$; б - for $0,25 < I_L \leq 0,5$; в - for $0,5 < I_L \leq 0,75$

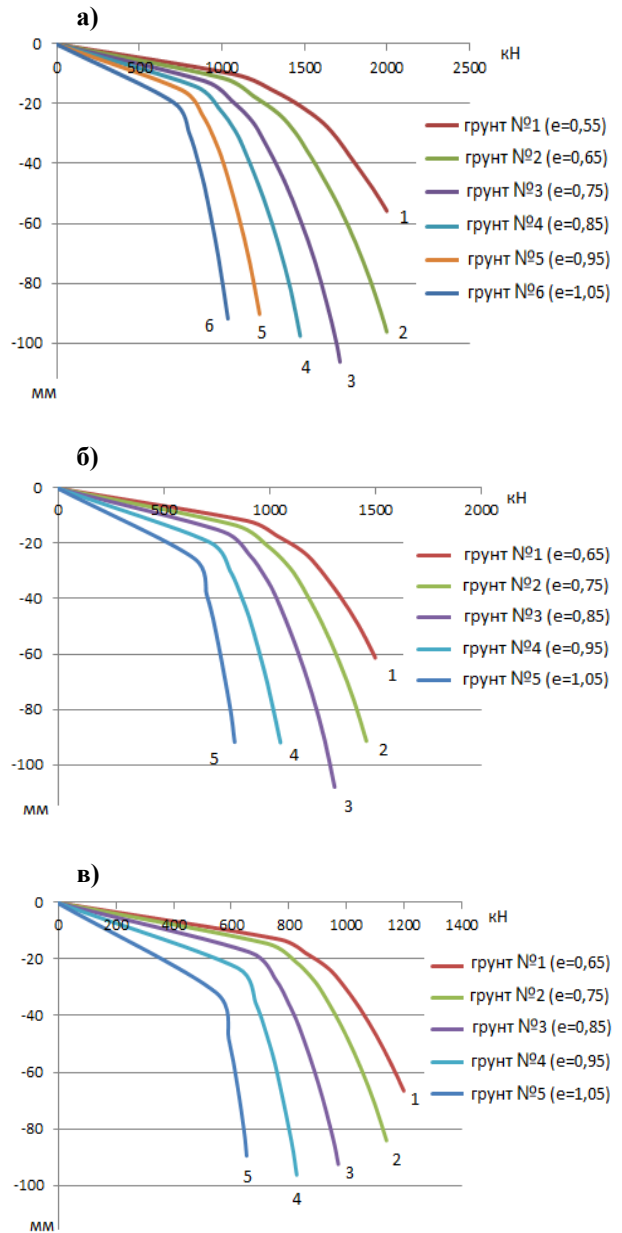


Рис. 6. Залежність несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості глин: а - при показнику текучості $0 \leq I_L \leq 0,25$; б- при показнику текучості $0,25 < I_L \leq 0,5$; в - при показнику текучості $0,5 < I_L \leq 0,75$
 Fig.6. Dependence of the bearing capacity of the drill bit on the coefficient of porosity of the clay: а - for $0 \leq I_L \leq 0,25$; б - for $0,25 < I_L \leq 0,5$; в - for $0,5 < I_L \leq 0,75$

Результати, отримані при чисельному моделюванні, показали, що при збільшенні коефіцієнта пористості несуча здатність бурової палі зменшується у 1,5 - 2,5 рази.

Для подальшого аналізу впливу коефіцієнту пористості результати моделювання оброблялись таким чином:

- визначалась частка навантаження, яку сприймає паля нижнім кінцем і боковою поверхнею (частка нижнього кінця приймалась такою ж, як при розрахунках за нормами);

- для визначення величин питомого опору по бічній поверхні для різних глибин по довжині палі приймалась закономірність, прийнята в таблиці Н.2.2 [1] з врахуванням підвищуючих коефіцієнтів для щільних пісків.

В результаті одержані таблиці 5, 6 значень питомого опору по бічній поверхні палі, аналогічні таблиці Н.2.2, але з введенням додаткового вхідного параметра у вигляді коефіцієнту пористості. Таблиці складені для палей довжиною до 10 м. Опір по бічній поверхні визначений через відсоток відносно значень несучої здатності палі, отриманих за таблицею ДБН з врахуванням +30% для щільних пісків.

З використанням таблиць 5, 6 визначені значення несучої здатності палей для дослідних майданчиків, для яких випробування доведені до деформації, близької до 4 см, довжина палі близька до 10 м і паля повністю розміщена у однорідному ґрунті. У таблицях 7, 8 наведені результати порівняння дослідних даних з результатами за запропонованими таблицями 5, 6. Опір під нижнім кінцем палей визначався за формулою (Н.3.2) або за табл. Н.3.3 [1]. У таблиці 7 наведені також значення несучої здатності, визначені за методикою норм.

Результати показали кращу відповідність дослідним даним у порівнянні з методикою норм.

Табл. 5. Розрахунковий опір ґрунту по бічній поверхні палей у піщаних ґрунтах

Table 5. Estimated soil resistance at the lateral surface of piles in sandy soils

Глибина розташування шару, м	Коефіцієнт пористості	Розрахунковий опір піску по бічній поверхні палей, кПа			
		Крупні	Сер. крупності	Дрібні	Пилуваті
1	0.45	44.7	41.5	33.4	30.1
	0.55	24.6	24.8	34.6	27.3
	0.65	23.4	26	27.5	21.6
	0.75	-	-	21.6	17.3
2	0.45	51.7	48.5	40.4	36.1
	0.55	31.6	31.8	41.6	33.3
	0.65	30.4	33	34.5	27.6
	0.75	-	-	28.6	23.3
3	0.45	57.7	54.5	45.4	40.1
	0.55	37.6	37.8	46.6	37.3
	0.65	36.4	39	39.5	31.6
	0.75	-	-	33.6	27.3
4	0.45	62.7	59.5	48.4	42.1
	0.55	42.6	42.8	49.6	39.3
	0.65	41.4	44	42.5	33.6
	0.75	-	-	36.6	29.3
5	0.45	65.7	62.5	50.4	44.1
	0.55	45.6	45.8	51.6	41.3
	0.65	44.4	47	44.5	35.6
	0.75	-	-	38.6	31.3
6	0.45	67.7	64.5	52.4	46.1
	0.55	47.6	47.8	53.6	43.3
	0.65	46.4	49	46.5	37.6
	0.75	-	-	40.6	33.3
7	0.45	69.7	66.5	53.4	47.1
	0.55	49.6	49.8	54.6	44.3
	0.65	48.4	51	47.5	38.6
	0.75	-	-	41.6	34.3
8	0.45	71.7	68.5	54.4	48.1
	0.55	51.6	51.8	55.6	45.3
	0.65	50.4	53	48.5	39.6
	0.75	-	-	42.6	35.3
9	0.45	73.2	70	55.4	48.6
	0.55	53.1	53.3	56.6	45.8
	0.65	51.9	54.5	49.5	40.1
	0.75	-	-	43.6	35.8
10	0.45	74.7	71.5	56.4	49.1
	0.55	54.6	54.8	57.6	46.3
	0.65	53.4	56	50.5	40.6
	0.75	-	-	44.6	36.3

Табл. 6. Розрахунковий опір ґрунту по бічній поверхні палів з урахуванням коефіцієнта пористості для глинистих ґрунтів

Table 6. Estimated soil resistance on the lateral surface of piles taking into account the coefficient of porosity for clay soils

Глибина розташування шару, м	Коефіцієнт пористості	Розрахунковий опір ґрунту по боковій поверхні бурових палів для глинистих ґрунтів із показником текучості, кПа			
		0,2	0,3	0,5	0,6
		1	2	3	4
1	0,45	73,8	86,3	45	0
	0,55	91,9	75,1	39,7	0
	0,65	77,6	80,6	33,7	54,9
	0,75	63,0	67,8	24,9	49,1
	0,85	63,7	62,0	17,1	37,35
	0,95	61,3	49,1	0	30,35
	1,05	60,7	46,6	0	23,45
2	0,45	80,8	93,3	52	0
	0,55	98,9	82,1	46,7	0
	0,65	84,6	87,6	40,7	61,9
	0,75	70,0	74,8	31,9	56,1
	0,85	70,7	69,0	24,1	44,35
	0,95	68,3	56,1	0	37,35
	1,05	67,7	53,6	0	30,45
3	0,45	86,8	98,3	57	0
	0,55	104,9	87,1	51,7	0
	0,65	90,6	92,6	45,7	66,9
	0,75	76,0	79,8	36,9	61,1
	0,85	76,7	74,0	29,1	49,35
	0,95	74,3	61,1	0	42,35
	1,05	73,7		0	35,45
4	0,45	91,8	101,3	60	0
	0,55	109,9	90,1	54,7	0
	0,65	95,6	95,6	48,7	69,9
	0,75	81,0	82,8	39,9	64,1
	0,85	81,7	77,0	32,1	52,35
	0,95	79,3	64,1	0	45,35
	1,05	78,7	61,6	0	38,45
5	0,45	94,8	103,3	62	0
	0,55	112,9	92,1	56,7	0
	0,65	98,6	97,6	50,7	71,9
	0,75	84,0	84,8	41,9	66,1
	0,85	84,7	79,0	34,1	54,35
	0,95	82,3	66,1	0	47,35
	1,05	81,7	63,6	0	40,45
6	0,45	96,8	105,3	64	0
	0,55	114,9	94,1	58,7	0
	0,65	100,6	99,6	52,7	73,9
	0,75	86,0	86,8	43,9	68,1
	0,85	86,7	81,0	36,1	56,35
	0,95	84,3	68,1	0	49,35
	1,05	83,7	65,6	0	42,45
7	0,45	98,8	106,3	65	0
	0,55	116,9	95,1	59,7	0

Продовження табл. 6

1	2	3	4	5	6
7	0,65	102,6	100,6	53,7	74,9
	0,75	88,0	87,8	44,9	69,1
	0,85	88,7	82,0	37,1	57,35
	0,95	86,3	69,1	0	50,35
	1,05	85,7	66,6	0	43,45
	0,45	100,8	107,3	66	0
	0,55	118,9	96,1	60,7	0
8	0,65	104,6	101,6	54,7	75,9
	0,75	90,0	88,8	45,9	70,1
	0,85	90,7	83,0	38,1	58,35
	0,95	88,3	70,1	0	51,35
	1,05	87,7	67,6	0	44,45
	0,45	102,3	108,3	67	0
	0,55	120,4	97,1	61,7	0
9	0,65	106,1	102,6	55,7	76,9
	0,75	91,5	89,8	46,9	71,1
	0,85	92,2	84,0	39,1	59,35
	0,95	89,8	71,1	0	52,35
	1,05	89,2	68,6	0	45,45
	0,45	103,8	109,3	68	0
	0,55	121,9	98,1	62,7	0
10	0,65	107,6	103,6	56,7	77,9
	0,75	93,0	90,8	47,9	72,1
	0,85	93,7	85,0	40,1	60,35
	0,95	91,3	72,1	0	53,35
	1,05	90,7	69,6	0	46,45

Табл. 7. Порівняння несучої здатності бурових паль у піщаних та глинистих ґрунтах, що визначена різними методами

Table 7. Comparison of the bearing capacity of drill piles in sandy and clay soils defined by different methods

№	Назва об'єкту	Назва ґрунту по бічній поверхні	Розміри бурової палі		Фізико-механічні характеристики ґрунту по бічній поверхні				Несуча здатність палі за результатами статичних випробувань, кН	Несуча здатність палі за запропонованою таблицею, кН	Несуча здатність палі за формулою ДБН, кН	Несуча здатність палі за таблицею ДБН, кН
			L, м	d, м	e	c, кПа	φ, °	γ, кН/м ³				
Піщані ґрунти												
1	м. Київ, НСК Олімпійський ІС-1, ІС-5, ІС-6	Пісок пилюватий	7.0	0.42	0.7	2	33	19.9	(930+550+500)/3=660	536	474	514
2	Бориспіль ІС-12 (кущ 6)	Пісок мілкий	7.0	0.6	0.63	1	30	18.9	2475	912	811	890
3	М. Київ, вул. Виборгська. ІС-1 (№33)	Пісок середньої крупності	8.0	0.42	0.616	0	31	17.8	425	470	296	533
4	м. Київ, мотозавод, корпус №5	Пісок мілкий	5.0	0.6	0.66-0.68	0	37	17.9	1129	1024	890	997
5	м. Київ, поліклініка №2, вул. Верхня	Пісок мілкий	10.7 6	0.66	~0.65			~17.9	2500	2200		2164
6	м. Київ, ТЕЦ-5, димова труба №1	Пісок середньої крупності	12.0	0.58	~0.65			~17.8	3000	2013		2137
Глинисті ґрунти												
1	м. Київ, НСК Олімпійський ІС-3	Суглинок	9,7	0,82	0,7	8	24	18,2	1900	1751,6	350,4	1118,2
2	м. Київ, НСК Олімпійський ІС-7	Глина важка жовто-сіра	7,0	0,42	0,704	9,2	13	19,6	450	607,8	98,1	379,4
3	м. Київ, вул. Глибочицька, 43 в Шевченківському районі	Супісок лесовидний	10	0,82	0,77	14	22	18,6	2750	1937,2	728,2	1429,8
4	м. Дніпропетровськ, малопов. житловий будинок	Суглинок	10	0.64	0,56	0,718	17	19,6	1472	1323,0	780,7	1142,9

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Числове моделювання показало, що несуча здатність бурових паль залежить не тільки від показника текучості, а і від коефіцієнту пористості.

2. Методика розрахунку бурових паль, наведена в ДБН, не враховує коефіцієнт пористості.

3. У результаті проведеного моделювання випробувань бурових паль в програмному комплексі Plaxis отримали розрахунковий опір по боковій поверхні бурових паль у піщаних та глинистих ґрунтах, який відрізняється у порівнянні із наведеними значеннями чинних норм.

4. В результаті проведеного математичного моделювання отримані нові таблиці значень питомого опору піщаних та глинистих ґрунтів по бічній поверхні бурових паль з урахуванням коефіцієнта пористості ґрунтів для паль довжиною до 10 м.

5. Використання таблиць дозволяє одержувати при проектуванні більш економічні рішення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти споруд. Із зміною №1 та №2: ДБН В.2.1–10–2009. – [Чинний від 2011–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 161с.
2. Маєвська І.В. Вдосконалення методики визначення несучої здатності бурових паль. / І.В.Маєвська, Н.В.Блащук, С.В.Романов // *Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – Вип. 83. – К.: НДІБК, 2016. – с. 616-625.
3. Маєвська І.В. Визначення несучої здатності бурових паль з урахуванням коефіцієнта пористості ґрунтів. / І.В. Маєвська, Н.В. Блащук, А.В.Грушевська / *Proceedings of the 2nd International Conference «Challenges in Geotechnical Engineering 2017» November, 20th–23rd 2017*, – Kyiv, Ukraine/ [Електронний ресурс]. Режим доступу:<https://www.cgeconf.com/ua/articles.html>.
4. Маєвська І.В. Залежність опору бурових паль по бічній поверхні від коефіцієнту пористості у глинистих ґрунтах / І.В.Маєвська,

Ю.В.Сирота / *Тези міжнародної н/т конференції «Інноваційні технології в будівництві»*, - Вінниця: ВНТУ, 2018 р. / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6014>.

5. Зоценко М.Л. Сучасні проблеми пальового фундаментобудування / М.Л. Зоценко // *Будівельні конструкції*. – К.: НДІБК. – 2004. – Вип.61. – т.2. – С. 33-39.

REFERENCES

1. *Osnovy ta fundamenti sporud. Zmina 1,2: DBN V.2.1–10–2009*. (2011). Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 161 (in Ukrainian).
2. Mayevs'ka I.V., Blashchuk N.V. Romanov S.V. (2016). Vdoskonalennya metodyky vyznachennya nesu-choyi zdatnosti burovykh pal' [Improvement of the technique of determining the bearing capacity of drilling piles]. *Budivel'ni konstruktsiyi: Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk*. K.: NDIBK, 83, 616-625 (in Ukrainian).
3. Mayevs'ka I.V., Blashchuk N.V., Hrushevs'ka A.V. (2017) Vyznachennya nesuchoyi zdatnosti burovykh pal' z urakhuvannyam koefitsiyenta porystosti gruntiv [Determination of bearing capacity of drilling piles taking into account soil porosity coefficient] *Proceedings of the 2nd International Conference «Challenges in Geotechnical Engineering 2017» November, 20th–23rd 2017*, Kyiv, Ukraine/ [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.cgeconf.com/ua/articles.html> (in Ukrainian).
4. Mayevs'ka I.V., Syrota YU.V. (2018) Zalezhnist' oporu burovykh pal' po bichniy poverkhni vid koefitsiyentu porystosti u hlynystykh gruntakh [Dependence of drilling pile resistance on the lateral surface on the porosity coefficient in clay soils]. *Tezy mizhnarodnoyi n/t konferentsiyi «Innova-tsiyni tekhnolohiyi v budivnytstvi»*. Vinnytsya: VNTU. [Elektronnyy resurs] Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6014>.
5. Zotsenko M.L. (2004). Suchasni problem pal'ovogo fundamentobuduvannya [Modern problems of pile foundation buildings]. *Budivel'ni konstruktsiyi*. Kyiv: NDIBK, 61 (2), 33-39 (in Ukrainian).

Accounting of the coefficient of the soil porosity for determination of resistance of side surface of drilling pile

*Irina Maevska,
Natalya Blashchuk*

Summary. The influence of the coefficient of porosity of sandy and clay soils on the bearing capacity of drill piles was analyzed. At the time of solving the problem, the results of static tests of drilling and injection piles carried out at the Research Institute of Building Production and the Research Institute of Building Structures of Kyiv were used. The results of field tests of 17 drill piles from 10 different sites and 38 injection piles from 10 different sites are considered. The boundary resistance of the pile of different lengths and diameters, located in different soils was analyzed.

To solve the problem, the geotechnical software complex "Plaxis 3D Foundation" was used, which simulated the stress-strain state of the drill pile in sands of various sizes and densities and clay soils of various types with a flow index of 0.2; 0.3; 0.5 and 0.6. The graph of the dependence was constructed and the influence of the porosity coefficient of sandy and clay soils on the bearing capacity of a drill pile up to 10 m long was analyzed. It was established that with decreasing the porosity coefficient the bearing capacity of the drill pile increases in all cases. Comparison of bearing capacity determined taking into account the coefficient of porosity, with the carrying capacity determined by the applicable norms, showed that the result obtained according to norms corresponds to the upper limit of the range of change in the coefficient of porosity, and therefore, with a lower value of the coefficient of porosity, a reserve of strength was established.

As a result of the conducted mathematical modeling, new tables were obtained for determining the soil resistance on the side surface of the drill piles taking into account the porosity coefficient. The results of calculations using the proposed tables are compared with the results of static tests of drill piles. The results showed better compliance with the experimental data compared with the norm methodology. The developed tables allow to establish a more reliable calculated value of the bearing capacity of the drill piles. The consideration of the porosity coefficient in determining the bearing capacity of the drill piles in sandy and clay soils allows to use reserves of bearing capacity of such piles, laid down in the existing norms at low values of the coefficient of porosity, and to obtain a more economical solution. In addition, this reduces the number of pilot piles that are subject to a static test on the construction site.

Key words. soil foundation, pile, coefficient of porosity, bearing capacity of the pile.