

ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ БУРОВИХ ПАЛЬ ПО БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ ВІД КОЕФІЦІЄНТУ ПОРИСТОСТІ У ГЛИНИСТИХ ҐРУНТАХ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Визначений опір по бічній поверхні для бурових палей довжиною до 10 м у різних глинистих ґрунтах на підставі чисельного моделювання роботи бурової палі методом скінченних елементів у програмному комплексі «Plaxis 3D Foundation». Проаналізовано вплив показника текучості та коефіцієнта пористості глинистих ґрунтів на опір по бічній поверхні. Одержана таблиця значень питомого опору по бічній поверхні палі з врахуванням коефіцієнту пористості.

Ключові слова: паля, коефіцієнт пористості, напружено-деформований стан.

Abstract

The resistance of the lateral surface for the drill piles up to 10 m in different clay soils is determined on the basis of numerical modeling of the operation of the drill pile by the finite element method in the software complex "Plaxis 3D Foundation". The influence of the flow index and the coefficient of porosity of clay soils on the resistance of the lateral surface is analyzed. A table of values of the specific resistance on the lateral surface of the pile is obtained taking into account the coefficient of porosity.

Keywords: pile, voids ratio, mode of deformation.

Вступ

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

Накопичений досвід випробувань бурових палей як в Україні, так і за рубежом свідчить про те, що несуча здатність палей, розрахована за формулами і таблицями норм, виявляється нижчою фактичної несучої здатності, визначеної за результатами статичних випробувань, причому іноді до 2-3 разів. Отже, методика визначення несучої здатності бурових палей потребує удосконалення.

Чинними нормами [1] не враховано, як змінюється несуча здатність палей в залежності від коефіцієнта пористості ґрунту. Аналіз дослідних даних доводить, що така залежність є. Врахування впливу коефіцієнту пористості дозволить передавати на ґрунти з низьким коефіцієнтом пористості більші навантаження і, отже, одержати економічний ефект.

Раніше у ВНТУ було проведено дослідження впливу коефіцієнту пористості на несучу здатність бурових палей у піщаних ґрунтах [2]. Метою даної роботи є дослідження впливу коефіцієнту пористості глинистих ґрунтів різних типів на несучу здатність бурових палей.

Результати дослідження

Перспективним напрямком досліджень напружено-деформованого стану (НДС) системи «паля – ґрунтове середовище» є використання методів математичного моделювання на основі чисельних методів аналізу. В даній роботі напружено-деформований стан бурової палі та осідання від навантаження моделювався з використанням геотехнічного програмного комплексу «Plaxis 3D Foundation».

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

- створення розрахункової схеми палі в ґрунті;
- врахування коефіцієнта умов роботи для глинистих ґрунтів;

- дослідження несучої здатності бурової палі в глинистих ґрунтах;
 - побудова графіків залежності «осідання-навантаження».
- На рис. 1 для прикладу наведені результати побудови моделі палі.

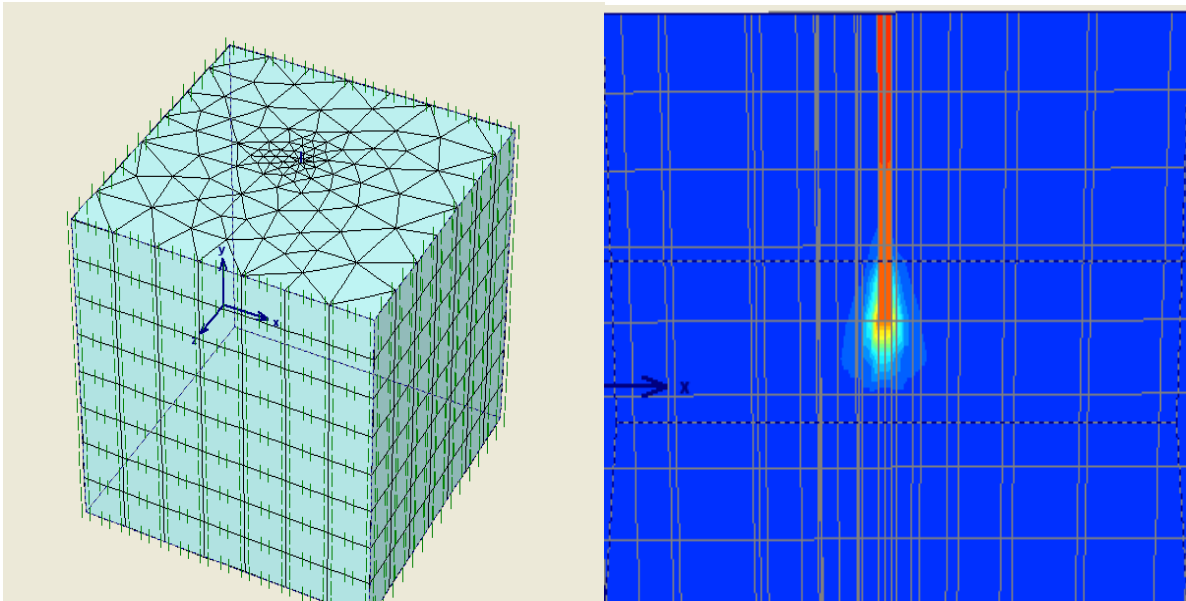


Рис. 1 Модель палі в ґрунтовому середовищі

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 глинистих ґрунтах з фізико-механічними характеристиками наведеними у таблиці №1 . Представлені 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.

На графіках рис. 2 - 9 наведені результати розрахунку несучої здатності палі для обраних ґрунтів за методиками, запропонованими нормами, та за результатами чисельного моделювання у «Plaxis 3D Foundation». При визначенні несучої здатності за нормами опір по бічній поверхні палі визначався двома шляхами: або за формулою (Н.2.2) [1] (як функція характеристик міцності) – криві за №1, або та таблицею Н.2.2 – криві за №2. За №3 наведені криві за результатами розрахунку у «Plaxis 3D Foundation».

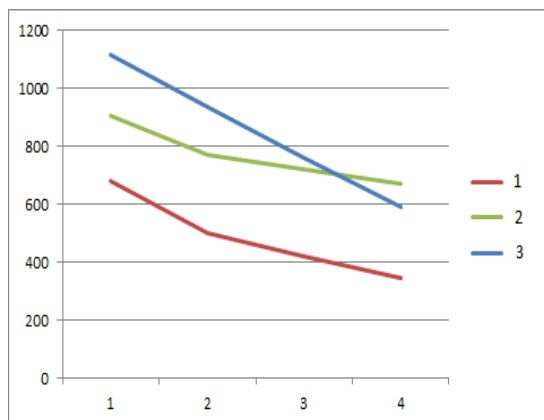


Рис. 2 Несуча здатність бурової палі в глинистих ґрунтах із показником текучості $0,25 < IL \leq 0,75$:

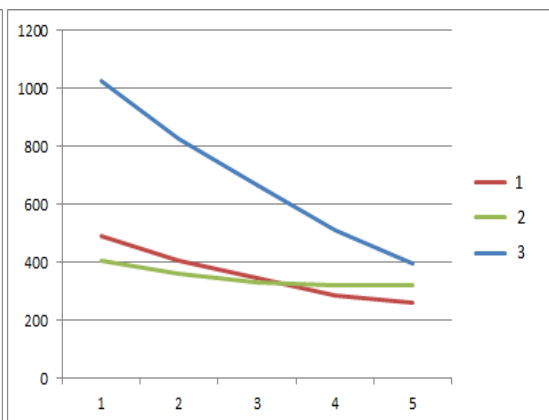


Рис. 3 Несуча здатність бурової палі в супісках із показником текучості $0 \leq IL \leq 0,25$

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів

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

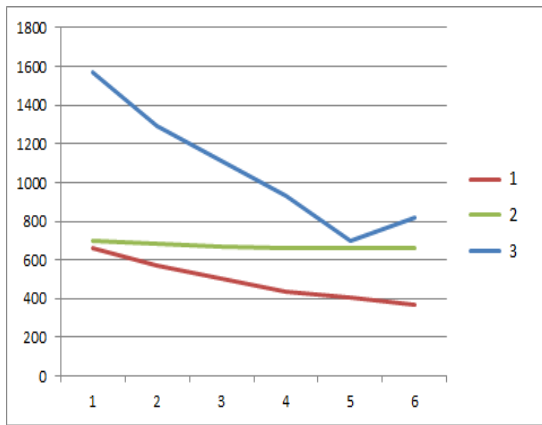


Рис. 4 Несуча здатність бурової палі у ізпоказником текучості $0,25 < PI \leq 0,5$

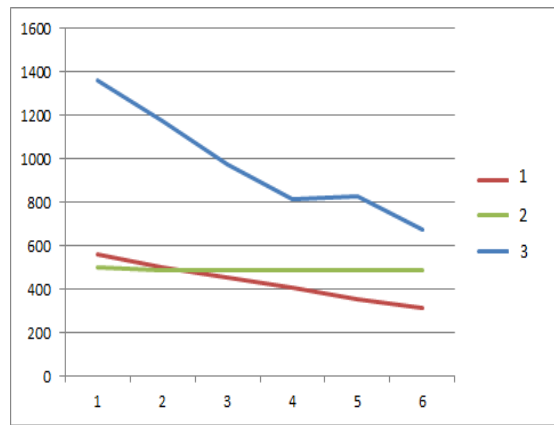


Рис. 5 Несуча здатність бурової палі у суглинках ізпоказником текучості $0 \leq PI \leq 0,25$

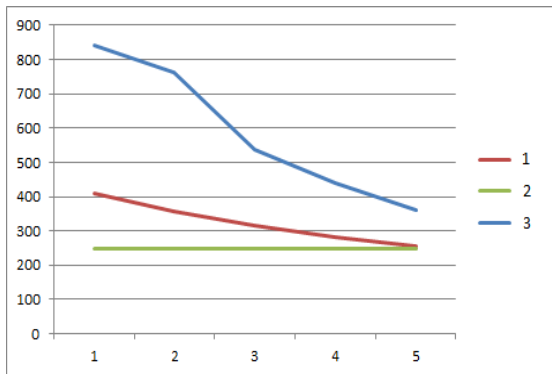


Рис. 6 Несуча здатність бурової палі у суглинках показником текучості $0,5 \leq PI \leq 0,75$

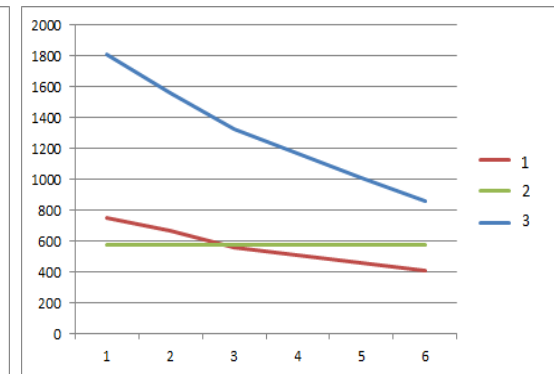


Рис. 7 Несуча здатність бурової палі у глинах із показником текучості $0 < PI \leq 0,25$

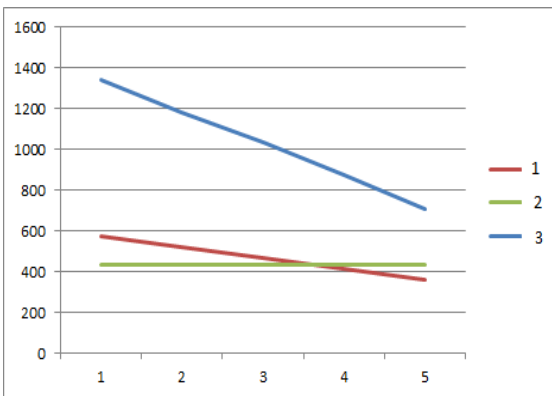


Рис. 8 Несуча здатність бурової палі у глинах із показником текучості $0,25 < PI \leq 0,5$

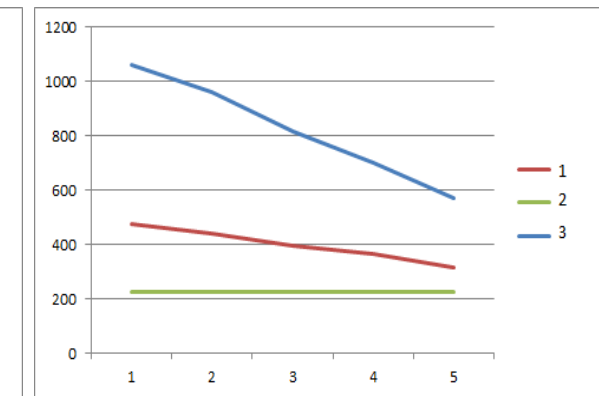


Рис. 9 Несуча здатність бурової палі у глинах із показником текучості $0,5 < PI \leq 0,75$

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

Оскільки характеристики міцності залежать від коефіцієнта пористості, то несуча здатність, визначена за формулою 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 несуча здатність бурової палі не змінюється в залежності від коефіцієнта пористості.

Результати розрахунку у «Plaxis» показали більше значення несучої здатності, ніж визначене за методиками норм.

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

- визначалась частка навантаження, яку сприймає палля 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 норм.

В результаті одержана таблиця 2 значень питомого опору по бічній поверхні палі, аналогічна таблиці Н.2.2, але з введенням додаткового вхідного параметра у вигляді коефіцієнту пористості. Таблиця складена для палей довжиною до 10 м. Опір по бічній поверхні визначений через відсоток відносно значень несучої здатності палі, отриманих за таблицею ДБН

Таблиця 2 – Розрахунковий опір ґрунту по бічній поверхні палей з урахуванням коефіцієнта пористості для глинистих ґрунтів

Середня глибина розташування шару, м	Коефіцієнт пористості	Розрахунковий опір ґрунту по боковій поверхні бурових палей для глинистих ґрунтів із показником текучості, кПа								Усереднені значення			
		0,2		0,3		0,5		0,6		0,2	0,3	0,5	0,6
1	0,45	47,4	100,1		86,3		45			73,8	86,3	45	0
	0,55	46,3	82	147,4	75,1		39,7			91,9	75,1	39,7	0
	0,65	38,3	69,4	125	60	101,2	33,7	44,6	65,2	77,6	80,6	33,7	54,9
	0,75	28,9	56,7	103,3	47,7	87,9	24,9	39,8	58,4	63,0	67,8	24,9	49,1
	0,85		38,3	89,1	48,7	75,2	17,1	26,1	48,6	63,7	62,0	17,1	37,35
	0,95		48,1	74,5	37,2	60,9		20,1	40,6	61,3	49,1	0	30,35
	1,05			60,7		46,6		15,2	31,7	60,7	46,6	0	23,45
2	0,45	54,4	107,1		93,3		52			80,8	93,3	52	0
	0,55	53,3	89	154,4	82,1		46,7			98,9	82,1	46,7	0
	0,65	45,3	76,4	132	67	108,2	40,7	51,6	72,2	84,6	87,6	40,7	61,9
	0,75	35,9	63,7	110,3	54,7	94,9	31,9	46,8	65,4	70,0	74,8	31,9	56,1
	0,85		45,3	96,1	55,7	82,2	24,1	33,1	55,6	70,7	69,0	24,1	44,35
	0,95		55,1	81,5	44,2	67,9		27,1	47,6	68,3	56,1	0	37,35
	1,05			67,7		53,6		22,2	38,7	67,7	53,6	0	30,45
3	0,45	60,4	113,1		98,3		57			86,8	98,3	57	0
	0,55	59,3	95	160,4	87,1		51,7			104,9	87,1	51,7	0
	0,65	51,3	82,4	138	72	113,2	45,7	56,6	77,2	90,6	92,6	45,7	66,9
	0,75	41,9	69,7	116,3	59,7	99,9	36,9	51,8	70,4	76,0	79,8	36,9	61,1
	0,85		51,3	102,1	60,7	87,2	29,1	38,1	60,6	76,7	74,0	29,1	49,35
	0,95		61,1	87,5	49,2	72,9		32,1	52,6	74,3	61,1	0	42,35
	1,05			73,7		58,6		27,2	43,7	73,7	58,6	0	35,45
4	0,45	65,4	118,1		101,3		60			91,8	101,3	60	0
	0,55	64,3	100	165,4	90,1		54,7			109,9	90,1	54,7	0
	0,65	56,3	87,4	143	75	116,2	48,7	59,6	80,2	95,6	95,6	48,7	69,9
	0,75	46,9	74,7	121,3	62,7	102,9	39,9	54,8	73,4	81,0	82,8	39,9	64,1
	0,85		56,3	107,1	63,7	90,2	32,1	41,1	63,6	81,7	77,0	32,1	52,35
	0,95		66,1	92,5	52,2	75,9		35,1	55,6	79,3	64,1	0	45,35
	1,05			78,7		61,6		30,2	46,7	78,7	61,6	0	38,45
5	0,45	68,4	121,1		103,3		62			94,8	103,3	62	0

Середня глибина розташування шару, м	Коефіцієнт пористості	Розрахунковий опір ґрунту по боковій поверхні бурових паль для глинистих ґрунтів із показником текучості, кПа								Усереднені значення			
		0,2			0,3		0,5	0,6		0,2	0,3	0,5	0,6
	0,55	67,3	103	168,4	92,1		56,7			112,9	92,1	56,7	0
	0,65	59,3	90,4	146	77	118,2	50,7	61,6	82,2	98,6	97,6	50,7	71,9
	0,75	49,9	77,7	124,3	64,7	104,9	41,9	56,8	75,4	84,0	84,8	41,9	66,1
	0,85		59,3	110,1	65,7	92,2	34,1	43,1	65,6	84,7	79,0	34,1	54,35
	0,95		69,1	95,5	54,2	77,9		37,1	57,6	82,3	66,1	0	47,35
	1,05			81,7		63,6		32,2	48,7	81,7	63,6	0	40,45
6	0,45	70,4	123,1		105,3		64			96,8	105,3	64	0
	0,55	69,3	105	170,4	94,1		58,7			114,9	94,1	58,7	0
	0,65	61,3	92,4	148	79	120,2	52,7	63,6	84,2	100,6	99,6	52,7	73,9
	0,75	51,9	79,7	126,3	66,7	106,9	43,9	58,8	77,4	86,0	86,8	43,9	68,1
	0,85		61,3	112,1	67,7	94,2	36,1	45,1	67,6	86,7	81,0	36,1	56,35
	0,95		71,1	97,5	56,2	79,9		39,1	59,6	84,3	68,1	0	49,35
7	1,05			83,7		65,6		34,2	50,7	83,7	65,6	0	42,45
	0,45	72,4	125,1		106,3		65			98,8	106,3	65	0
	0,55	71,3	107	172,4	95,1		59,7			116,9	95,1	59,7	0
	0,65	63,3	94,4	150	80	121,2	53,7	64,6	85,2	102,6	100,6	53,7	74,9
	0,75	53,9	81,7	128,3	67,7	107,9	44,9	59,8	78,4	88,0	87,8	44,9	69,1
	0,85		63,3	114,1	68,7	95,2	37,1	46,1	68,6	88,7	82,0	37,1	57,35
8	0,95		73,1	99,5	57,2	80,9		40,1	60,6	86,3	69,1	0	50,35
	1,05			85,7		66,6		35,2	51,7	85,7	66,6	0	43,45
	0,45	74,4	127,1		107,3		66			100,8	107,3	66	0
	0,55	73,3	109	174,4	96,1		60,7			118,9	96,1	60,7	0
	0,65	65,3	96,4	152	81	122,2	54,7	65,6	86,2	104,6	101,6	54,7	75,9
	0,75	55,9	83,7	130,3	68,7	108,9	45,9	60,8	79,4	90,0	88,8	45,9	70,1
9	0,85		65,3	116,1	69,7	96,2	38,1	47,1	69,6	90,7	83,0	38,1	58,35
	0,95		75,1	101,5	58,2	81,9		41,1	61,6	88,3	70,1	0	51,35
	1,05			87,7		67,6		36,2	52,7	87,7	67,6	0	44,45
	0,45	75,9	128,6		108,3		67			102,3	108,3	67	0
	0,55	74,8	110,5	175,9	97,1		61,7			120,4	97,1	61,7	0
	0,65	66,8	97,9	153,5	82	123,2	55,7	66,6	87,2	106,1	102,6	55,7	76,9
10	0,75	57,4	85,2	131,8	69,7	109,9	46,9	61,8	80,4	91,5	89,8	46,9	71,1
	0,85		66,8	117,6	70,7	97,2	39,1	48,1	70,6	92,2	84,0	39,1	59,35
	0,95		76,6	103	59,2	82,9		42,1	62,6	89,8	71,1	0	52,35
	1,05			89,2		68,6		37,2	53,7	89,2	68,6	0	45,45
	0,45	77,4	130,1		109,3		68			103,8	109,3	68	0
	0,55	76,3	112	177,4	98,1		62,7			121,9	98,1	62,7	0
10	0,65	68,3	99,4	155	83	124,2	56,7	67,6	88,2	107,6	103,6	56,7	77,9
	0,75	58,9	86,7	133,3	70,7	110,9	47,9	62,8	81,4	93,0	90,8	47,9	72,1
	0,85		68,3	119,1	71,7	98,2	40,1	49,1	71,6	93,7	85,0	40,1	60,35
	0,95		78,1	104,5	60,2	83,9		43,1	63,6	91,3	72,1	0	53,35
	1,05			90,7		69,6		38,2	54,7	90,7	69,6	0	46,45

З використанням таблиці 2 визначені значення несучої здатності паль для дослідних майданчиків, для яких випробування доведені до деформації, близької до 4 см, довжина палі близька до 10 м і паля повністю розміщена у глинистому ґрунті. У таблиці 3 наведені результати порівняння дослідних даних з результатами за запропонованою таблицею 2. Опір під нижнім кінцем паль визначався за формулою (Н.3.2) норм. У таблиці 3 наведені також значення несучої здатності, визначені за методикою норм.

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

№	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/м³				
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 р-ну	Супісок лесо-видний	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

1. У результаті проведеного моделювання випробувань бурових паль в програмному комплексі Plaxis отримали розрахунковий опір по боковій поверхні бурових паль у глинистих ґрунтах, який відрізняється у порівнянні із наведеними значеннями чинних норм.
2. Числове моделювання показало, що несуча здатність бурових паль в глинистих ґрунтах залежить не тільки від показника текучості, а і від коефіцієнту пористості.
3. Методика розрахунку бурових паль, наведена в ДБН, не враховує коефіцієнт пористості.
4. В результаті проведеного математичного моделювання отримана нова таблиця значень питомого опору глинистих ґрунтів по бічній поверхні бурових паль для показників текучості 0,2; 0,3; 0,5 та 0,6 з урахуванням коефіцієнта пористості ґрунтів для паль довжиною до 10 м.
5. Використання таблиці дозволяє одержувати при проектуванні більш економічні рішення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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. – (Державні будівельні норми України).
2. Ірина В. Маєвська, Наталя В. Блашук, А. В. Грушевська Визначення несучої здатності бурових паль з урахуванням коефіцієнта пористості ґрунтів CGE-2017 – 2nd International Conference "Challenges in Geotechnical Engineering" November 20th–23rd 2017, Kyiv, Ukraine/ [Електронний ресурс]. Режим доступу:<https://www.cgeconf.com/ua/articles.html>.
3. Сирота Ю.В., Маєвська І.В. Вплив коефіцієнта пористості глинистих ґрунтів на несучу здатність бурових паль/ Тези XLVII конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області – Вінниця, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/4780/3930>.

Юрій Володимирович Сирота— магістрант гр. 1Б-17м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет; e-mail: yura.sirota.1996@gmail.com

Науковий керівник: **Ірина Вікторівна Масвська** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Yurii V. Syrota - Masterhr. 1B-17m, Department of construction of thermal power and gas, Vinnytsia National Technical University; e-mail: yura.sirota.1996@gmail.com

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