

# 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:** палія, 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 таких палей свідчить про те, що несуча здатність палей, розрахована за формулами і таблицями [1], виявляється нижчою фактичної несучої здатності, визначеної за результатами статичних випробувань. Отже, методика визначення несучої здатності бурових палей потребує удосконалення.

У українських та російських нормах для визначення несучої здатності палей 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. Виконані раніше дослідження [2, 3] дозволили встановити наявність впливу коефіцієнту пористості на несучу здатність бурових палей у піщаних і глинистих ґрунтах.

Метою даної роботи є визначення впливу коефіцієнта пористості на опір по бічній поверхні бурових палей у глинистих ґрунтах.

## Результати дослідження

Перспективним напрямком досліджень напружено-деформованого стану (НДС) системи «палія – 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». Приклад моделі палі в ґрунтовому середовищі наведений на рис. 1.

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 глинистих ґрунтів;

- дослідження несучої здатності бурової палі в глинистих ґрунтах;
- побудова графіків залежності «осідання-навантаження».

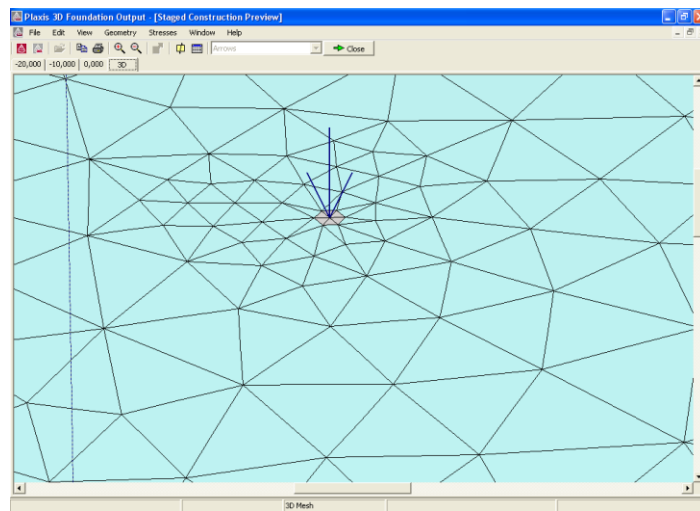
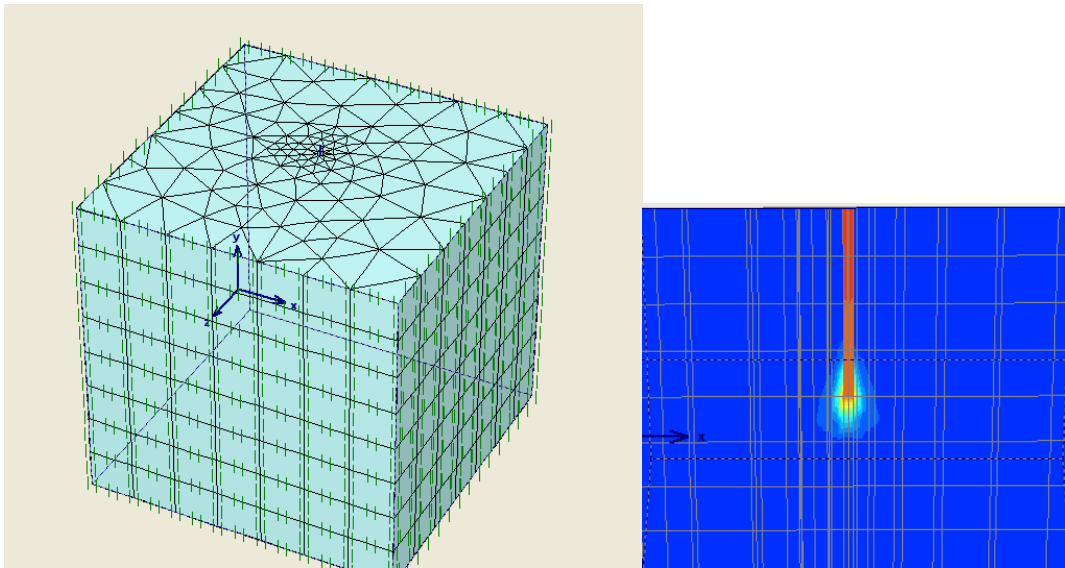


Рис. 1 Модель палі в ґрунтовому середовищі

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  $20 \times 20$  м;
- за навантаження, що сприймається фундаментом, приймається значення зовнішнього навантаження без урахування ваги фундаменту, при якому граничні деформації досягають 40 мм.

Модельні експерименти виконувались у глинистих ґрунтах з фізико-механічними характеристиками, наведеними у табл. 1.

В табл. 2 наведені значення несучої здатності бурової палі, отримані в результаті розрахунку за чинними нормами та програмним комплексом Plaxis 3D. У результаті проведеного чисельного моделювання отримали графіки залежності несучої здатності бурової палі від коефіцієнта пористості.

При попередніх дослідженнях [3] було показано, що при збільшенні коефіцієнта пористості від  $e=0,45$  до  $e=1,05$  несуча здатність бурової палі зменшується у всіх випадках.

Для визначення впливу коефіцієнту пористості ґрунту на опір по бічній поверхні бурової палі результати моделювання оброблялись наступним чином:



Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтів

№ випробування	Назва ґрунту	Фізико-механічні характеристики ґрунту					
		IL	e	c, кПа	$\phi$ , °	E, МПа	
1	Супіски	$0 \leq IL \leq 0,25$	0,45	21	30	32	
2			0,55	17	29	24	
3			0,65	15	27	16	
4			0,75	13	24	10	
5		$0,25 < IL \leq 0,75$	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	$0 \leq IL \leq 0,25$	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		$0,25 < IL \leq 0,5$	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		$0,5 < IL \leq 0,75$	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	$0 \leq IL \leq 0,25$	0,55	81	21
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		$0,25 < IL \leq 0,5$		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	$0,5 < IL \leq 0,75$	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		

Таблиця 2 – Несуча здатність бурової палі, отримана в результаті розрахунку

№ випробування	Назва ґрунту	IL	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 ≤ I <sub>L</sub> ≤ 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		0,25 < I <sub>L</sub> ≤ 0,75	489,8	406,3	1026,46
6			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	Суглинк и	0 ≤ I <sub>L</sub> ≤ 0,25	662,9	701,3	1570,3
11			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		0,25 < I <sub>L</sub> ≤ 0,5	558,1	503,2	1360
17			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		0,5 < I <sub>L</sub> ≤ 0,75	411,2	249,6	840,14
23			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 ≤ I <sub>L</sub> ≤ 0,25	748,4	576,0
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 <sub>L</sub> ≤ 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	0,5 < I <sub>L</sub> ≤ 0,75		475,2	225,6	1062,48
39			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	

- 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 по таблиці Н.2.2 [1].

В результаті одержана таблиця 3 значень питомого опору по боковій поверхні палі, аналогічна таблиці Н.2.2 [1], 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 чинних норм.

Таблиця 3 – 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
	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

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	
	0,85		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
	1,05			83,7		65,6		34,2	50,7	83,7	65,6	0	42,45
7	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
	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
8	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
	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
9	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
	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
10	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
	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

## Висновки

В результаті проведених випробувань для оцінки впливу коефіцієнта пористості глинистих ґрунтів на опір по бічній поверхні бурової палі отримали таблицю з кількісними значеннями питомого опору, що залежить не тільки від показника текучості, а і від коефіцієнту пористості.

Виконане моделювання випробувань буронабивних паль в програмному комплексі Plaxis свідчить про те, що розрахунковий опір по бічній поверхні бурових паль у глинистих ґрунтах відрізняється в порівнянні із відповідними значеннями чинних норм.

Використання таблиці дозволить 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. Блащук, 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 Маєвська** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Yurii V.Syrota** - Master hr. 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.