

Дослідження зміни несучої здатності бурових паль в залежності від методів її визначення

Василь Підлуцький¹, Олександр Гаврилюк², Вячеслав Демідов³

^{1,2,3} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,
¹pidlutskyi.vl@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-1936-3990
²gavryliuk.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7252-0679
³evklidis@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7641-8804

DOI: 10.32347/0475-1132.39.2019.33-40

Анотація. Одне з важливих питань при проектуванні висотних будівель - ефективне конструювання фундаментів, оскільки вони мають передавати значні навантаження на основу.

В зв'язку із зростанням навантаження, яке сприймає основа, раціональним є використання пальових фундаментів, які здатні передати навантаження від надземних конструкцій на ґрунти з необхідною несучою здатністю, що залягають на певній глибині.

Цим вимогам повністю відповідають палі, що влаштовуються за буровою технологією. Аналіз публікацій, та практика застосування показує що несуча здатність бурових паль за формулами норм є заниженою, що в свою чергу призводить до збільшення кількості паль, їх довжини та діаметру, витрат будівельних матеріалів. В кінцевому результаті це призводить до збільшення собівартості влаштування фундаментів.

В Україні до цього часу, визначення несучої здатності бурових паль виконувалося за методикою формул норм [1], а за методикою статичного зондування така методика в українських нормах відсутня. Таким чином, відсутність в Україні затвердженої нормативної документації, яка б регламентувала методику визначення несучої здатності бурових паль за статичним зондуванням викликає запит на її розробку.

Представлено результати порівняння несучої здатності бурових паль та їхнього розрахункового навантаження, визначеного за різними методами на 5 будівельних майданчиках в різних ґрунтових умовах, а саме, порівняно результати отримані за табличними значеннями формул норм, матеріалами статичного зонду-



Василь Підлуцький
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н., доц.



Олександр Гаврилюк
асистент кафедри
геотехніки



Вячеслав Демідов
магістр кафедри
геотехніки

вання та натурними випробуваннями паль. На основі аналізу одержаних результатів запропоновані додатки до інженерної методики визначення несучої здатності бурових паль за результатами статичного зондування. Дана методика полягає у визначенні несучої здатності бурових паль за статичним зондуванням за методикою українських норм для забивних паль із застосуванням додаткового коефіцієнта умов роботи палі по бічній поверхні.

Ключові слова. бурові палі, статичне зондування, несуча здатність, випробування паль, коефіцієнт умов роботи палі.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При проектуванні пальових фундаментів відповідальних об'єктів нормативні документи зобов'язують проводити натурні випробування бурових паль статичним навантаженням для визначення їх дійсної несучої здатності або для підтвердження несучої здатності паль, прийнятої в проекті. Як відомо, попередньо несучу здатність паль можна визначити на основі формул, які наведені в нормативних документах [1]. Проте дуже часто результати даних розрахунків приводять до отримання заниженого значення несучої здатності паль, що призводить до значних перевитрат матеріалів при проектуванні пальових фундаментів. Для більш точного визначення несучої здатності паль на етапі проектування пропонується використати методику її визначення на основі результатів статичного зондування, так як це польовий метод, який може дати більш точне значення несучої здатності паль. Такий підхід вже реалізований в нормативних документах сусідніх держав (білоруські [3] та російські [4] норми), а також в європейських нормах. В українських нормах така методика прийнята тільки для забивних (задавлюваних) паль. Тому в умовах масового застосування бурових паль для використання такої актуальної методики в Україні пропонується для даних паль використати методику визначення несучої здатності паль для забивних паль на основі даних статичного зондування із застосуванням коефіцієнта умов роботи палі по бічній поверхні γ_{cf} . Для цього необхідно перевірити запропонований підхід по визначенню несучої здатності паль за результатами їх натурних випробувань, а також за результатами статичного зондування за методиками різних країн, в яких дані норми прийняті.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика визначення несучої здатності паль за формулами норм наведена у ДБН В.2.1-10-2009 [1], а методика визначення несучої здатності паль за результатами ста-

тичного зондування та на основі натурних випробувань паль – у ДСТУ Б В.2.1-27:2010 [2]. В нормативних документах сусідніх держав [3, 4] така методика вже відпрацьована та включена для постійного використання.

В роботах багатьох науковців [5, 6] висвітлюється проблема визначення несучої здатності паль за різними методиками, в тому числі за методикою статичного зондування. Дослідження проводилися в межах окремих будівельних майданчиків з визначеними ґрунтовими умовами. Дані дослідження необхідно розширювати з метою отримання даних розрахунків в більшому спектрі ґрунтів для можливості проведення систематизації результатів та їх узагальнення по видах ґрунтових умов та зміні несучої здатності бурових паль.

МЕТА РОБОТИ

Порівняння несучої здатності бурових паль та їхнього розрахункового навантаження, визначеного за різними методами, а саме, порівняти результати отримані за табличними значеннями, матеріалами статичного зондування та натурними випробуваннями паль.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для виконання поставлених задач, було проаналізовано несучу здатність бурових паль на 5-ти об'єктах дослідження, визначених за їх натурним випробуванням в кількості 12 шт в пісках пилюватих, дрібних та середньої крупності щільних, а також досліджено несучу здатність даних паль за формулами норм та за методиками статичного зондування різних країн для встановлення можливості використання української методики визначення несучої здатності забивних паль за статичним зондуванням для бурових паль. Для цього використано методику для визначення несучої здатності забивних паль із застосуванням в формулі (13) [2] коефіцієнта умов роботи палі по бічній поверхні γ_{cf} , який приймається за

табл.Н.3.1 [1].

Несуча здатність паль за формулами норм [1] визначається:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{CR} RA + u \sum \gamma_{cfi} h_i f_i), \quad (1)$$

де γ_c - коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті; γ_c - коефіцієнт умов роботи ґрунту під нижнім кінцем палі; R - розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем палі; A - площа опирання палі на ґрунт; γ_{cfi} - коефіцієнт умов роботи ґрунту по бічній поверхні палі; u - зовнішній периметр поперечного перерізу палі; f_i - розрахунковий опір i -го шару ґрунту по бічній поверхні палі; h_i - товщина i -го шару ґрунту.

Несуча здатність паль за результатами статичного зондування для забивних паль згідно українських вимог [2] визначається:

$$F_u = R_s A + fhu, \quad (2)$$

де f - середнє значення граничного опору ґрунту на бічній поверхні палі за даними зондування; h - глибина занурення палі від поверхні ґрунту.

Граничний опір ґрунту під нижнім кінцем палі R_s за даними зондування визначається за формулою:

$$R_s = \beta_1 \cdot q_s, \quad (3)$$

де β_1 - коефіцієнт переходу від q_s до R_s ; q_s - середнє значення опору ґрунту під наконечником зонда.

Середнє значення граничного опору ґрунту на бічній поверхні палі f визначається за формулою:

$$f = \frac{\sum \beta_i f_{si} h_i \gamma_{cf}}{h}, \quad (4)$$

де β_i - коефіцієнт переходу від f_{si} до f ; f_{si} - середній опір i -го шару ґрунту на бічній поверхні зонда.

В формулу (4) запропоновано вводити коефіцієнт умов роботи палі по бічній поверхні γ_{cf} , який приймається за

табл.Н.3.1 [1]. У нормативному документі [2] дана формула відповідає формулі (13).

У білоруських нормах [3] принцип визначення несучої здатності паль за статичним зондуванням схожий до українського, тобто залежить від значень опору ґрунту під наконечником зонда та на бічній поверхні. В російських нормах [4] методика визначення несучої здатності паль за статичним зондуванням дещо відрізняється. Вона залежить лише від значень опору ґрунту під наконечником зонда, які трансформовані для визначення роботи палі під її підошвою та на бічній поверхні.

На п'ятьох будівельних майданчиках було проведено натурне випробування паль діаметром $d=520$ мм та $d=620$ мм, довжиною 12,0 м; 14,0 м; 15,0 м; 18,07 м; 19,0 м; 32,5 м. Для паль на об'єктах дослідження несучим шаром були піски пилюваті щільні та піски середньої крупності середньої щільності (див. табл.1 і табл.2). Для даних паль було визначено несучу здатність паль та їх розрахункове навантаження за формулами норм та за даними статичного зондування. Для порівняння приймаємо розрахункове навантаження на палі, так як воно залежить від коефіцієнта надійності від способу визначення несучої здатності паль. Типовий випробувальний стенд для польових випробувань паль наведено на Рис. 1, а приклади графіків залежності осідання палі від навантаження для дослідних паль наведено на Рис. 2.



Рис.1. Стенд для польових випробувань паль.

Fig.1. Stand for field testing of piles.

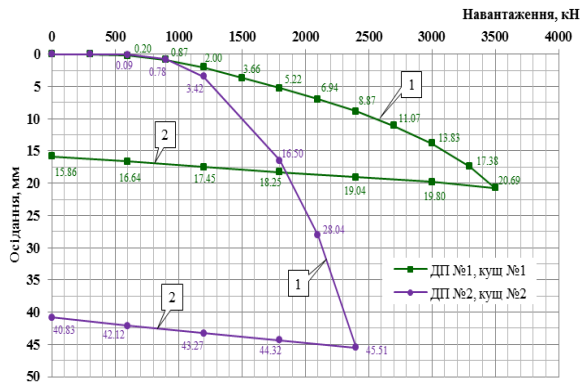


Рис.2. Графіки залежності осідання палі від навантаження для дослідних паль ДП-1 (кущ № 1) та ДП-2 (кущ № 2): 1-гілка навантаження; 2 - гілка розвантаження.

Fig.2. Charts of the dependence of the settling of the pile on the load for the experimental piles DP-1 (bush number 1) and DP-2 (bush number 2): 1-branch load; 2 - the branch of unloading.

Табл. 1. Порівняння значень несучої здатності паль та їх розрахункового навантаження в залежності від їх методу визначення

Table 1. Comparison of the load bearing capacity of piles and their calculated load, depending on their method of determination

№ п/п	Об'єкт, № випр.	Розмір паль		Стат.випробування	Українські норми				Грунт
					Формули норм		Стат. зондування		
					№р, кН	%	№р, кН	%	
1	1.1	620	32,5	3791.6	2579.5	68	2225.1	59	Пісок дрібний, середньої щільності
2	2.1	520	12,0	1150.0	761.6	66	1261.5	110	Пісок середньої крупності, щільний
3	2.2	520	12,0	1150.0	561.7	49	1332.2	116	Пісок пілуватий, щільний
4	2.3	520	12,0	1150.0	851.3	74	1241.4	108	Пісок середньої крупності, щільний
5	3.1	620	19,0	3300.0	2185.5	66	2248.9	68	Пісок пілуватий, щільний
6	4.1	620	15,0	3000.0	2578.9	86	2254.5	75	Пісок середньої крупності, щільний, водонасич.
7	4.2	620	15,0	3125.0	2409.9	77	2162.0	69	Пісок середньої крупності, щільний, водонасич.
8	4.3	620	19,0	2480.0	2321.4	94	2171.3	88	Пісок дрібний, щільний
9	5.1	620	18,07	2500.0	2023.5	81	2474.1	99	Пісок пілуватий, щільний
10	5.2	520	14,0	2400.0	2184.0	91	1759.1	73	Пісок дрібний, щільний
11	5.3	520	14,0	2080.0	2048.5	98	1646.8	79	Пісок дрібний, щільний
12	5.4	520	14,0	2080.0	1950.1	94	1705.0	82	Пісок дрібний, щільний
		Середнє		100%	78,7%		85,5%		

Табл. 2. Несуча здатність паль та їх розрахункове навантаження, визначені за методиками статичного зондування різних країн

Table 2. Bearing capacity of piles and their calculated load, determined by static sensing methods of different countries

№ п/п	Об'єкт, № випр.	Розмір паль		Статичне зондування						Грунт
				Українські норми		Білоруські норми		Російські норми		
				d, мм	L, м	Np, кН	%	Np, кН	%	
1	1.1	620	32,5	2225.1	100	2571.7	116	1848.6	83	Пісок дрібний, середньої щільності
2	2.1	520	12,0	1261.5	100	1032.4	82	970.3	77	Пісок середньої крупності, щільний
3	2.2	520	12,0	1332.2	100	1067.9	80	1011.3	76	Пісок пилюватий, щільний
4	2.3	520	12,0	1241.4	100	1013.4	82	986.2	79	Пісок середньої крупності, щільний
5	3.1	620	19,0	2248.9	100	2187.8	97	1785.7	79	Пісок пилюватий, щільний
6	4.1	620	15,0	2254.5	100	2034.7	90	1623.4	72	Пісок середньої крупності, щільний, водонасич.
7	4.2	620	15,0	2162.0	100	1914.7	89	1580.5	73	Пісок середньої крупності, щільний, водонасич.
8	4.3	620	19,0	2171.3	100	2236.0	103	1664.2	77	Пісок дрібний, щільний
9	5.1	620	18,07	2474.1	100	2532.3	102	1416.2	57	Пісок пилюватий, щільний
10	5.2	520	14,0	1759.1	100	2014.2	114	1034.5	59	Пісок дрібний, щільний
11	5.3	520	14,0	1646.8	100	1883.8	114	976.3	59	Пісок дрібний, щільний
12	5.4	520	14,0	1705.0	100	1953.0	115	965.2	57	Пісок дрібний, щільний
				Середнє	100%		99%		71%	



Рис.3. Порівняння усереднених значень несучої здатності паль відповідно до методу визначення.

Fig.3. Comparison of average load bearing capacity of piles according to the determination method.

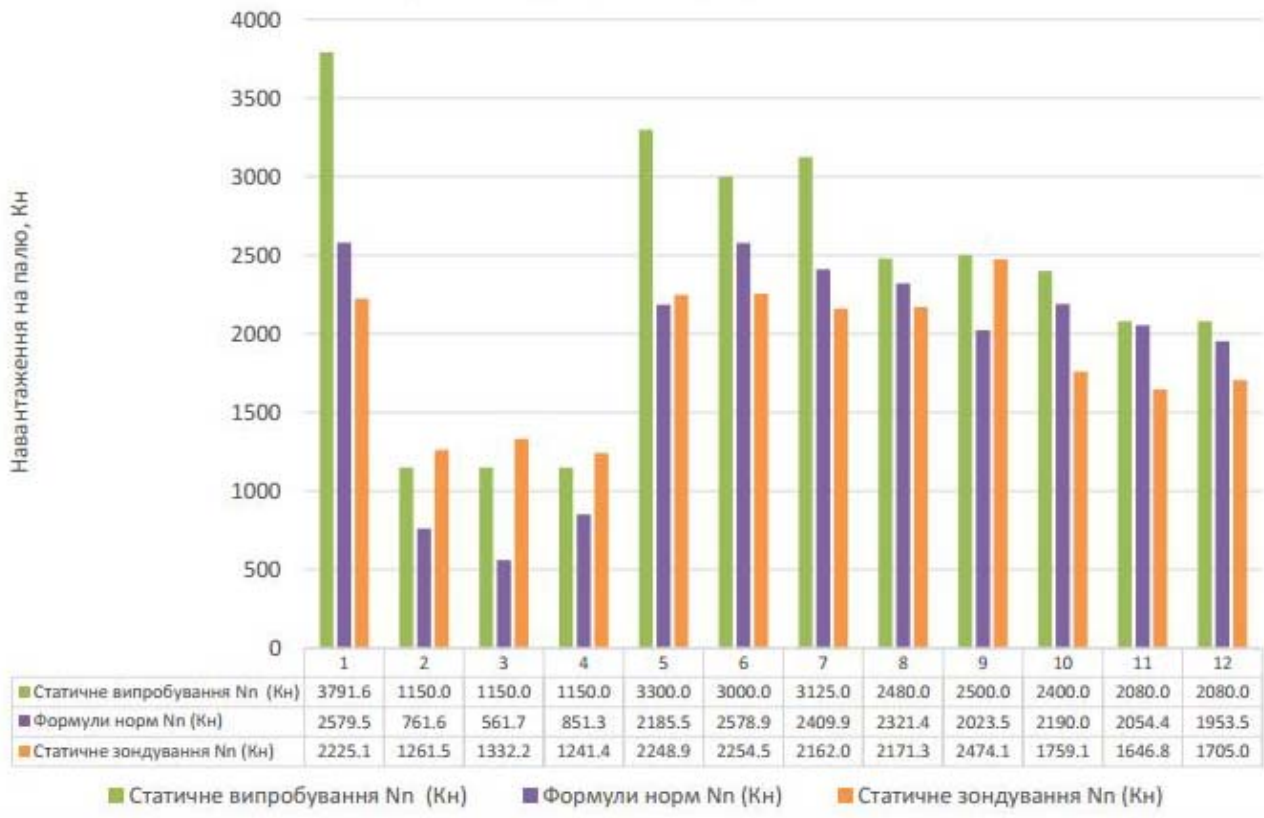


Рис.4. Діаграма розрахункового навантаження на палі кожного об'єкту дослідження в залежності від методу визначення.

Fig.4. Diagram of the bearing capacity of piles, depending on the method of determination.

Як видно з даних таблиць несуча здатність палей, визначена за методикою українських норм [1] дає запас міцності несучої здатності бурової палі на 20%, а за статичним зондуванням [2] на 15%. (Рис. 3, Рис. 4).

Результати досліджень показали, що несуча здатність палей, визначена за формулами норм, на усіх об'єктах дослідження має занижені результати у порівнянні з натурними випробуваннями. Відмінність становить в межах 50%-90% (в середньому 78%). При чому найбільша різниця (49%) виявлена в пісках пилюватих, а це зниження результатів в 2 рази, що значно збільшує вартість будівництва. На відміну, методика статичного зондування дає значно кращі результати, що підвищує точність визначення несучої здатності палей і в середньому несуча здатність палей менша на 85,5% за результати натурального випробування (Рис. 3).

Несуча здатність палей, визначена за формулами норм на дослідних майданчиках №№ 1,2,3,4 показали найбільш занижені результати в межах 48-74% у порівнянні з натурними випробуваннями, де довжина палей була найбільша $H=32,5$ м та найменша $H=12,0$ м. І навпаки, на даних дослідних майданчиках несуча здатність палей визначена за статичним зондуванням завищена в межах 107-116% у порівнянні з натурними випробуваннями. Методика статичного зондування для визначення несучої здатності бурових палей дає кращу збіжність результатів за методикою формул норм в порівнянні з їх натурними випробуваннями.

Аналізуючи проведені розрахунки встановлено, що несуча здатність бурових палей, визначена за методикою статичного зондування за українськими та білоруськими нормами практично однакові, різниця складає в межах 2 %, що відповідає результатам статичного випробування дослідних палей.

Результати досліджень показали, несуча здатність бурових паль, визначена за статичним зондуванням за російськими нормами на більшості об'єктів дослідження показали занижені результати у порівнянні з українською методикою, відмінність становить в межах 75%-85%. При чому для паль меншого діаметру (520мм) в піску дрібному щільному виявлено найбільша різниця (до 60%), що значно відрізняється від результатів статичного випробування даних паль.

Виконаний аналіз свідчить, що бурові палі мають резерв у фактичній несучій здатності у порівнянні із розрахованим за методикою українських норм величиною в середньому на 21,3%, а розраховане за методикою статичного зондування на 14,5%.

Використання уточненої методики визначення несучої здатності бурових паль за методикою статичного зондування дозволить забезпечити економію матеріалів у майбутньому при проектуванні пальових фундаментів, що призведе до розробки надійних рішень конструкцій фундаментів.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Показано, що в українських нормах відсутня методика визначення несучої здатності палі за результатами статичного зондування, на відміну від методик сусідніх держав.

Проаналізовано, що за методиками українських та білоруських нормативних документів для визначення несучої здатності бурових паль використовуються дані статичного зондування по бічній поверхні і під конусом зонду, а за методом російських норм лише дані під конусом зонду, які трансформовані для визначення роботи палі під подошвою фундаменту та на бічній поверхні.

Запропоновано для визначення несучої здатності бурових паль за статичним зондуванням використати методику українських норм для забивних паль із застосуванням коефіцієнта умов роботи палі по бічній поверхні γ_{ef} , який наведений в табл.Н.3.1 [1].

Досліджено, що несуча здатність паль, визначена за формулами норм на 12-ти об'єктах дослідження показали занижені результати в середньому на 78 %, а визначена за методикою статичного зондування – лише на 85,5% у порівнянні з натурними випробуваннями паль, що говорить про можливість застосування даної методики в практиці проектування.

Показано, що всебічне дослідження несучої здатності бурових паль за різними методиками на етапі проектування дозволить отримати достовірні її значення, що забезпечить розробці надійних та економічних рішень пальових фундаментів будівель і споруд.

Застосування даної методики в практиці проектування пальових фундаментів дасть економічний ефект за рахунок швидкого та надійного визначення несучої здатності бурових паль.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи та фундаменти споруд. Зміна № 1: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55с.
2. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань: ДСТУ Б В.2.1-27:2010. – [Чинний з 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с.
3. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов: ПЗ-2000 к СНБ 5.01.01-99. – [Дата введения 2001-07-01] – Минск: Минстройархитектуры, 2001. – 23 с.
4. Проектирование и устройство свайных фундаментов: СП 50-102-2003. – Москва, 2004. – 87 с.
5. Бойко І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою. / І.П.Бойко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2006. – Вип. 30. – С. 3-8.
6. Романенко А.В. Аналіз достовірності визначення несучої здатності буроін'єкційних паль за діючими методиками СНіП / А.В. Романенко, І.В. Маєвська // *Будівельні конструкції. праць*. – Вип. 75, книга 2. – К.: ДП НДІБК, 2011. – С.164 – 169.

REFERENCES

1. Osnovy ta fundamenty sporud. Zmina 1: DBN V.2.1–10–2009. (2011). Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 55 (in Ukrainian).
2. Pali. Vyznachennia nesuchoi zdatnosti za rezultatamy polovykh vyprobuvan: DSTU B V.2.1–27:2010. (2011). Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 11 (in Ukrainian).
3. Proektirovanie zabivnykh i nabivnykh svay po rezultatam zondirovaniya gruntov: P2-2000 k SNB 5.01.01-99. (2001). Minsk: Minstroyarhitekturyi, 23. (in Russian).
4. Proektirovanie i ustroystvo svaynykh fundamentov: SP 50-102-2003. (2004). Moskva, 87. (in Russian).
5. Boyko I.P. (2006). Osoblyvosti vzaiemodii palovykh fundamentiv pid vysotnymy budynkamy z yikh osnovoiv [Features of the interaction of pile foundations under high-rise buildings with their foundation]. *Osnovu i fundamenty: Mizhvidomchyj naukovotekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 30, 3-8 (in Ukrainian).
6. Romanenko A.V. (2011) Analiz dostovirnosti vyznachennia nesuchoi zdatnosti buroiniektsiinykh pal za diiuchymy metodykamy SNiP [Analysis of the reliability of determining the bearing capacity of the drilling piles using current SNiP methods]. *Budivel'ni konstrukciyi*. Kyiv: NDIBK, 75 (2), 164-169 (in Ukrainian).

Investigation of the change in bearing capacity of drilling piles, depending on the methods of its determination

*Vasul Pidlutskiy,
Oleksandr Gavryliuk,
Viacheslav Demidov*

Summary. One of the important issues when designing high-rise buildings is the effective construction of the foundations as they have to withstand considerable load on the base.

Under heavy load at the base, it is rational to use pile foundations that can transfer loads from above superstructures to soils with the required bearing capacity that lie at a certain depth.

These requirements are completely met by piles, which are arranged by drilling technology. The analysis of publications and the practice of using piles shows that the bearing capacity of drill-

ing piles, which is determined by the formulas of norms, is low. This leads to an increase in the number of piles, their length and diameter, the cost of building materials. In the end, this leads to an increase in the cost of the foundation.

In Ukraine, until now, the determination of the bearing capacity of drilling piles was performed according to the method of formulas of norms [1], and according to the method of cone penetration test (CPT), such a technique is absent in Ukrainian norms. Thus, the lack of approved regulatory documentation in Ukraine that would regulate the method of determining the bearing capacity of drilling piles by cone penetration test (CPT) prompts a request for its development.

The article presents the results of comparing the bearing capacity of drilling piles and their design load, which are determined by different methods on five construction sites with different soil conditions. The results of calculations on tabular values of norm formulas, cone penetration test materials and field tests of piles are compared. On the basis of the analysis of the obtained results, additions to the engineering method of determining the bearing capacity of the drilling piles according to the results of cone penetration test (CPT) are proposed. This method is to determine the bearing capacity of drilling piles by cone penetration test (CPT) according to the method of Ukrainian norms for piling piles using an additional coefficient of working conditions of the pile on the side surface.

Key words. Drilling piles, cone penetration test, bearing capacity, pile testing, pile operating conditions.