

## ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ БУРОВИХ ПАЛЬ

Вінницький національний технічний університет;

### **Анотація**

*Визначені перехідні коефіцієнти від несучої здатності забивної до несучої здатності бурової палі для подальшого використання результатів статичного зондування для визначення несучої здатності бурових палей. Виконаний збір даних польових випробувань бурових палей статичним навантаженням по майданчиках, де паралельно проводилось статичне зондування. Виконані порівняльні розрахунки несучої здатності палей за результатами статичного зондування та за результатами польових випробувань. Виявлено, що визначення*

*несучої здатності бурових палей за результатами статичного зондування потребує удосконалення.*

**Ключові слова:** паля, бурова паля, несуча здатність палі, статичне випробування палі, статичне зондування.

### **Abstract**

*The transition coefficients from the bearing capacity of the drilling pile to the bearing capacity are determined for further use of the results of static probing to determine the bearing capacity of the drill piles.*

*Made the collection of data from field tests of drill piles by static loading on sites where parallel static sounding was carried out. The comparative calculations of the bearing capacity of piles based on the results of static sounding and on the results of field trials are performed. It is revealed that determination of the bearing capacity of drill piles by the results of static probing needs improvement.*

**Keywords** pile, drill pile, load bearing capacity, static piling test, static sounding.

### **Вступ**

Подальший розвиток та вдосконалення палевих фундаментів, зокрема з бурових та буроін'єкційних палей, можливий лише при детальному вивченні взаємодії палей даного виду з оточуючим ґрунтом та розробці надійних і достовірних методів їх розрахунку. Чинні норми [1] вимагають обов'язкового підтвердження несучої здатності палей у польових умовах. Але з відомих польових методів випробування палей за українськими нормами для бурових палей можуть бути використані лише статичні випробування натурних палей. Цей метод найбільш достовірний, але одночасно найбільш трудомісткий та дорогий.

Для визначення несучої здатності забивних палей широко використовуються результати статичного зондування [2]. Щодо стосуються бурових палей, то методика визначення їх несучої здатності за даними статичного зондування запропонована у нормативних документах Росії [4], Білорусії [5], європейських нормах [6] та ряді авторських методик [7]. Для визначення несучої здатності бурових палей на підставі даних статичного зондування можна користуватись методиками, передбаченими нормативними документами інших країн, але усі вони до теперішнього часу не є досконалими і дають різні результати [3].

Несуча здатність бурових палей за даними статичних польових випробувань як правило перевищує несучу здатність, визначену як за теоретичними методами, так і за існуючими методиками обробки результатів статичного зондування, тому розробка удосконаленої методики визначення несучої здатності бурових палей на базі статичного зондування може дати економічний ефект.

### **Результати дослідження**

Зважаючи на складність одержання теоретичних залежностей опору ґрунту основи від даних статичного зондування застосовують інженерні методи розрахунку, засновані на емпіричних залежностях. В основі такого розрахунку лежить двочленна формула, де перше складове визначає опір нижнього кінця, друге – опір бічної поверхні палі по ґрунту[2].

Опір ґрунту під нижнім кінцем або по бічній поверхні палі визначається добутком площі нижнього кінця або бічної поверхні на питомий опір ґрунту під наконечником зонда,  $q_s$ , або по бічній поверхні зонда,  $f_s$ , з урахуванням перехідних емпіричних коефіцієнтів. В українських нормах [2] такі коефіцієнти наведені лише для забивних палей.

Оскільки за результатами статичного зондування можна одержати граничний опір забивної палі, а за теоретичними формулами норм - граничний опір бурової палі для таких же ґрунтових умов, то в даній роботі була виконана спроба визначити перехідні емпіричні коефіцієнти шляхом порівняння теоретичної несучої здатності забивної і бурової палі в однакових ґрунтових умовах.

На першому етапі досліджень виконаний збір даних польових випробувань бурових палей статичним навантаженням по майданчиках, де паралельно проводилось статичне зондування.

При вирішенні поставленої задачі були використані результати статичних випробувань бурових палей, виконаних у Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій м. Київ, КНУБА м. Київ. Розглянуті результати натурних випробувань 7-ми бурових палей з різних майданчиків. Райони випробувань знаходяться в таких містах: м. Київ, м. Бровари. Майданчики мали різні ґрунтові умови з спіранням палей на піщані ґрунти.

Випробовувались палі різної довжини та конфігурації. Довжини палей знаходяться в діапазоні від 10,8 до 25 м. Палі мають незмінний переріз. Діаметр ствола палей знаходиться в межах від 0,62 м до 0,83 м. Навантаження, яке може витримати конкретна бурова паля визначалося при досягненні межі осідання  $s = 40$  мм. Але частина випробувань була виконана як контрольні, тому навантаження доводилось до полуторного розрахункового навантаження. У цих випадках реальна несуча здатність палей буде більшою.

У табл. 1 представлений перелік дослідних майданчиків і параметри палей.

Таблиця 1 – Ґрунтові умови будівельних майданчиків та параметри дослідних бурових палей

Номер та найменування будівельного майданчика	Ґрунт під вістрям палі	Ґрунт по боковій поверхні палі	Довжина на палі	Діаметр палі, мм
1. с. Чайка Київської області	Пісок середньої круп-ті, щільний	Супісок, пісок середній та м'який	17, 18 м	620
2. м. Бровари	Пісок дрібний, щільний	Супісок твердий, пісок м'який	16 м	620
3. м. Київ, Печерський р-н, вул. Старонаводницька	Пісок пилюватий, щільний	Суглинок, супісок, пісок пилюватий	17 м, 20 м	820
4. м. Київ, Печерський р-н, пл. Спортивна	Пісок пилюватий, щільний	Суглинок, супісок, пісок пилюватий	10,8 м	830
5. м. Київ, Шевченківський р-н, бульв. Шевченка	Пісок пилюватий, щільний	Суглинок, супісок	18 м, 20 м	720
6. м. Київ, Дарницький р-н, вул. Григоренка	Пісок різнозернистий, щільний	Пісок намівний середньої крупності, супісок	16 м	620
7. м. Київ, Дніпровський р-н, просп. П. Тичини	Пісок дрібний	Супісок, пісок середньої крупності	25 м,	820

Визначення перехідних коефіцієнтів від несучої здатності забивної до несучої здатності бурової палі для подальшого використання результатів статичного зондування проводимо за наступною методикою:

1) Визначаємо теоретично несучу здатність забивної палі (за методикою [1]), зокрема окремо по боковій поверхні ( $f_s$ ) та під вістрям палі ( $R_s$ ).

2) Визначаємо теоретично несучу здатність бурової палі, також окремо по боковій поверхні ( $f_n$ ) та під нижнім кінцем палі ( $R_n$ ).

- 3) Визначаємо коефіцієнти для переходу від несучої здатності забивної палі до бурової:  
 - для бокової поверхні –  $K1 = f_n/f_z$ ;  
 - для нижнього кінця палі (під вістря палі) –  $K2 = R_n/R_z$ .
- 4) Обробка результатів статичного зондування та визначення за ними несучої здатності для забивної палі, також окремо по боковій поверхні ( $f_{cz}$ ) і під нижнім кінцем ( $R_{cz}$ ).
- 5) Тепер з допомогою перевідних коефіцієнтів та результатів статичного зондування можемо визначити шукану несучу здатність бурової палі:  
 - для бокової поверхні –  $f = K1 \cdot f_{cz}$ ;  
 - для вістря палі –  $R = K2 \cdot R_{cz}$ .
- б) Для перевірки достовірності отриманих результатів, перевіряємо їх із результатами випробування натурних паль, які також проводились на даному майданчику.  
 У таблиці 2 наведені результати теоретичних розрахунків несучої здатності паль.

Таблиця 2 – Несуча здатність забивної та бурової паль, визначених теоретичними розрахунками

№ майданчику	Забивна паля					Бурова паля				
	R	$\gamma_{CR} \cdot R \cdot A$	$\Sigma f_i \cdot h_i \cdot \gamma_{cf}$	$u \cdot \Sigma f_i \cdot h_i \cdot \gamma_{cf}$	Fd	R	$\gamma_{CR} \cdot R \cdot A$	$\Sigma f_i \cdot h_i \cdot \gamma_{cf}$	$u \cdot \Sigma f_i \cdot h_i \cdot \gamma_{cf}$	Fd
1	9280	835,2	1056,4	1267,2	2103	3670	1101	633,8	1235,9	2336,9
2	7300	657	783	939	1597	2652	795,6	470	916,5	1712
3	3700	333	1035	1242	1575	711,4	377	621	1596	1973
4	3000	270	468	561,6	831,6	1058	571,3	281	730,6	1301,9
5	3900	351	1572	1886	2237	4990	2031	943	2131	4162
6	5900	531	878	1053,6	1574,6	4055	1217	527	1028	2245
7	7000	630	1561,7	1874	2504	6503	3446,6	937	2408	5855

У таблиці 3 наведені результати визначення перехідних коефіцієнтів від несучої здатності забивної до несучої здатності бурової палі для опору під нижнім кінцем, а у таблиці 4 – для опору по бічній поверхні.

З таблиці 4 видно, що коефіцієнт  $K2$  дорівнює сталому значенню 0,6, оскільки методика визначення теоретичної несучої здатності забивної та бурової паль по бічній поверхні аналогічна і відрізняється лише коефіцієнтом умов роботи палі, прийнятих для паль, влаштованих під захистом обсадної труби.

Таблиця 3 – Визначення перехідних коефіцієнтів від несучої здатності забивної до несучої здатності бурової палі для опору під нижнім кінцем

№ буд. майданчика	$R_{наб.}$	$R_{заб.}$	$K1$
1	3670	9280	0,395
2	2652	7300	0,363
3	711,4	3700	0,192
4	1058	3000	0,353
5	4990	3900	1,28
6	4055	5900	0,687
7	6503	7000	0,929

У таблиці 5 наведені результати визначення несучої здатності забивних паль за даними статичного зондування.

Таблиця 4 – Визначення перехідних коефіцієнтів від несучої здатності забивної до несучої здатності бурової палі для опору по бічній поверхні

№ буд. майданчика	$f_{\text{наб.}}$	$f_{\text{заб.}}$	K2
1	633,8	1056,4	0,6
2	470	783	0,6
3	621	1035	0,6
4	281	468	0,6
5	943	1572	0,6
6	527	878	0,6
7	937	1561,7	0,6

Таблиця 5 –Результати визначення несучої здатності забивних паль за даними статичного зондування

№ майданчика	$R_s$	$\gamma_{CR} \cdot R \cdot A$	$f_s$	$u \cdot f_s$	Fd
1	6216	559	439	526,8	1093
2	5500	495	794	952,8	1448
3	6000	540	1088	1305,6	1845
4	4950	445,5	658,8	790,5	1236
5	4400	396	2040	2448	2844
6	5900	531	567	680	1211
7	5800	522	1750	2100	2622

Несучу здатність набивних паль також визначаємо окремо під нижнім кінцем палі та по її бічній поверхні. Для цього використовуємо той факт, що якщо між теоретичними значеннями несучої здатності забивної та набивної паль коефіцієнти K1 та K2, то і між несучою здатністю забивної палі, визначеної за результатами статичного зондуванням і несучою здатністю бурової палі також будуть ті ж коефіцієнти. Результати наведені у таблиці 6.

Таблиця 6 –Визначення несучої здатності бурових паль за результатами статичного зондування

№ дослідної точки	$R_s$ – забивна паля	K1	$R_s$ – бурова паля	$f_s$ – забивна паля	K2	$f_s$ – набивна паля
1	6216	0,395	2455	439	0,6	263
2	5500	0,363	1997	794	0,6	476
3	6000	0,192	1152	1088	0,6	653
4	4950	0,353	1747	658,8	0,6	395
5	4400	1,28	5632	2040	0,6	1224
6	5900	0,687	4053	567	0,6	340
7	5800	0,929	5388	1750	0,6	1050

Тепер, щоб цей результат порівняти із результатами випробування ґрунту статичним вдавлюваним навантаженням на палю, потрібно визначити несучу здатність набивних паль відповідного діаметру. Отримавши ці результати, можемо порівняти їх із результатами випробування ґрунту статичним вдавлюваним навантаженням, наведеними у табл. 7.

Таблиця 7 –Порівняння несучої здатності бурової палі, визначеної різними методами

№ дослідної точки	Несуча здатність теоретична	Несуча здатність за результатами статичного зондування	Несуча здатність за результатами випробування статичним вдавлюваним навантаженням на палю
1	2336,9	1249	2700
2	1712	1527	3000
3	1973	2289	4200
4	1301,9	1941	1950
5	4162	5058	4750
6	2245	1979	2250
7	5855	5554	4500

Значний розкид результатів розрахунків, невідповідність результатам польових випробувань свідчать про те, що методика визначення несучої здатності бурових паль за даними статичного зондування потребує подальшого дослідження та удосконалення.

### Висновки

1. У нормах України відсутня методика визначення несучої здатності бурових паль за результатами статичного зондування.
2. Визначені перехідні коефіцієнти від несучої здатності забивної до несучої здатності бурової палі для подальшого використання результатів статичного зондування для визначення несучої здатності бурової палі.
3. Несуча здатність бурових паль за даними статичних польових випробувань як правило перевищує несучу здатність, визначену як за теоретичними методами, так і за існуючими методиками обробки результатів статичного зондування, тому розробка удосконаленої методики визначення несучої здатності бурових паль на базі статичного зондування може дати економічний ефект.

### 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. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань: ДСТУ Б.В.2.1-27:2010 – [Чинні від 2011-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011 – 11 с. – (Національний стандарт України).
3. Шуневич В.А., Маєвська І.В. Аналіз можливості використання результатів статичного зондування для визначення несучої здатності 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/4850/4698>.
4. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. – М., 2011. – 90 с.
5. П2-2000 к СНБ 5.01.01-99: Практаванне забивних і набивних паль на виніках задірання ґрунту. Посібник к строительным нормам республики Беларусь. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов. – Минск, 2001.
6. European prestandard ENV 1997-3: 2000. Eurocode 7: Geotechnical design – Part 3: Design assisted by field testing. BSI. 2000.
7. Глазачев А. О. Исследование взаимодействия вертикально нагруженных буронабивных свай с основанием и их расчет с использованием статического зондирования: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.23.02 «Основания и фундаменти, подземные сооружения» / Глазачев Антон Олегович ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь, 2014. – 185 с.

**Володимир Андрійович Шуневич** — магістрант гр. 2Б-17м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет;

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

**Volodymyr A. Shunevich** - Masterhr. 2B-17m, Department of construction of thermal power and gas, Vinnytsia National Technical University;

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