

## **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.*

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

**Метою науково-дослідної частини роботи** є розробка методики розрахунку несучої здатності бурових палей за результатами польових випробувань (зокрема статичного зондування) та порівняння одержаних результатів з фактичними даними випробувань у польових умовах уже готових палей.

Чинні норми 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. Статичне зондування забезпечує оцінку несучої здатності палей на всіх характерних ділянках майданчику, на різних глибинах, поступаючись за точністю оцінок лише статичним випробуванням натурних палей. Крім того будівництво нових підприємств і споруд усе частіше доводиться вести на слабких ґрунтах, які вважались раніше непридатними для будівництва. Відбір непорушених зразків таких слабких ґрунтів для лабораторних досліджень часто є практично неможливим. Це вимагає використання методу дослідження властивостей ґрунтів в умовах їх природного залягання, що також забезпечується застосуванням методу статичного зондування.

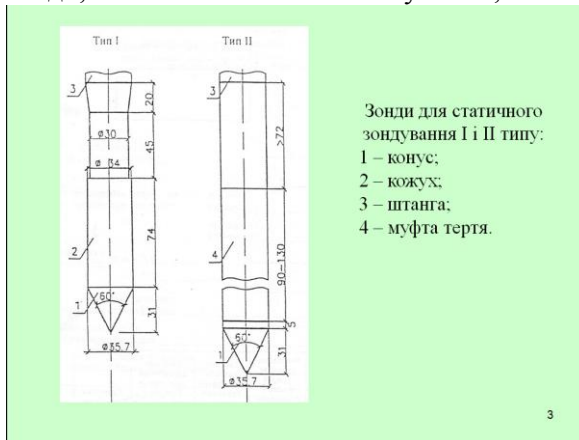
Отже, розробка достовірної методики визначення несучої здатності бурових палей на підставі результатів статичного зондування є актуальною.

### **У даній роботі поставлені задачі:**

- вивчити досвід проектування та влаштування бурових палей, та проблеми і недоліки, які при цьому виникають;
- зібрати матеріал по статичним випробуванням бурових палей у польових умовах для майданчиків, на яких паралельно проведено статичне зондування;

- виконати оцінку впливу параметрів палі і характеристик ґрунтів на опір ґрунту під нижнім кінцем та по бічній поверхні бурової палі;
- одержати систему коефіцієнтів переходу від даних статичного зондування до опору ґрунту основи бурових паль в різних видах ґрунтів;
- для системи «бурова паля -основа» розробити принципи побудови розрахункових схем, складання вихідних даних для чисельного моделювання НДС, провести розрахункові дослідження, використовуючи сучасні програмні комплекси;
- за даними статичних випробувань ґрунтів буровими палями і числового моделювання встановити несучу здатність дослідних паль, що дозволить удосконалити методику їх розрахунку за першою групою граничних станів по ґрунту;
- запропонувати інженерну методику визначення несучої здатності бурових паль за результатами статичного зондування та перевірити її відповідність даним натурних випробувань паль.

Усі існуючі установки статичного зондування мають різні конструктивні особливості, однак зонди, які в них застосовуються, можуть бути класифіковані за принципом їх дії



(рисуюнок 3).

Зонд I-го типу з наконечником у вигляді конуса й кожуха дозволяє вимірювати опір ґрунту під конусом і загальний опір ґрунту на бічній поверхні зонда. Зонд II-го типу з конусоподібним наконечником і муфтою тертя дозволяє вимірювати опір ґрунту під конусом і локальний опір ґрунту на ділянці бічної поверхні (муфті тертя).

При вирішенні поставлених задач 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 на таких майданчиках, де паралельно проведено статичне зондування. Усього було зібрано більше 20 результатів статичних випробувань натурних паль на 7 будівельних

Місця збору дослідного матеріалу:

- 1 - с. Чайка; 2 - м. Бровари; 3 - Печерський р-н, вул. Старонаводницька;
- Печерський р-н, пл. Спортивна; 5 - Шевченківський р-н, бульв. Шевченка; 6 - Дарницький р-н, вул. Григоренка; 7 - Дніпровський р-н, просп. П. Тичини



майданчиках

( рисуюнок 4).

Випробовувались палі різної довжини та конфігурації. Довжини паль знаходяться в діапазоні від 10,8 до 25 м (плакат 5). Палі мають незмінний переріз. Діаметр ствола паль

знаходиться в межах від 0,62 м до 0,83 м. Навантаження, яке може витримати конкретна бурова палля визначалося при досягненні межі осідання  $s = 40$  мм.

Майданчики мали різні ґрунтові умови (плакат 5).

Визначення несучої здатності бурової палі за результатами статичного зондування проводилось за наступним алгоритмом



(рисунок 6, 7):

1) Визначаємо теоретично несучу здатність забивної палі (за методикою ДБН [1]), зокрема окремо по боковій поверхні ( $f_3$ ) та під вістрям палі ( $R_3$ ).

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 –  $K2 = f_n / f_3$ ;
- для нижнього кінця палі (під вістрям палі) –  $K1 = R_n / R_3$ .

4) Обробка результатів статичного зондування та визначення за ними несучої здатності для забивної палі, також окремо по боковій поверхні ( $f_{c3}$ ) і під нижнім кінцем ( $R_{c3}$ ).

5) Тепер з допомогою перевідних коефіцієнтів та результатів статичного зондування можемо визначити шукану несучу здатність бурової палі:

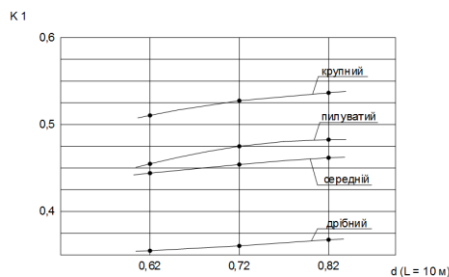
- для бокової поверхні –  $f = K2 \cdot f_{c3}$ ;
- для нижнього кінця палі –  $R = K1 \cdot R_{c3}$ .

Оскільки за методикою норм питома значення опору по бічній поверхні визначається для забивних та бурових палей за однією таблицею, а для бурових палей в залежності від способу їх влаштування вводиться поправочний коефіцієнт  $\gamma_{cfi}$  за табл. Н.3.1, то коефіцієнти  $K2 = f_n / f_3$  для переходу від несучої здатності забивної палі до несучої здатності бурової палі може бути прийнятий рівним табличному поправочному коефіцієнту

$$K2 = f_n / f_3 = \gamma_{cfi}.$$

Для визначення коефіцієнтів переходу для нижнього кінця палі були виконані численні розрахунки за таблицями і формулами норм паралельно для бурових та забивних палей на всьому діапазоні зміни характеристик відповідних ґрунтів. В результаті були складені таблиці і графіки зміни значень перехідного коефіцієнту  $K1$  при різних діаметрах, довжинах палей та різних характеристиках ґрунтів.

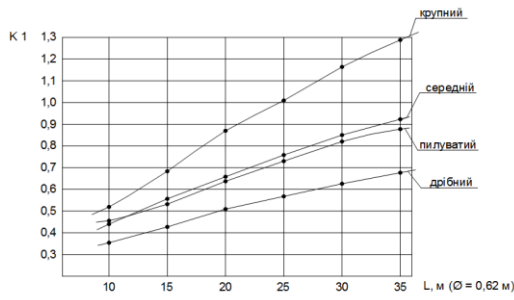
Залежність коефіцієнта  $K1$  від діаметру палі для піщаних ґрунтів (при довжині палі  $L = 10$  м)



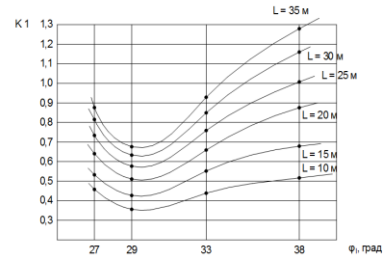
8

На плакаті 8 побудована залежність  $K1$  від діаметру палей для найменшої довжини палі  $L = 10$  м, оскільки при збільшенні довжини вплив величини діаметру швидко затухає. Як бачимо, діаметр палі мало впливає на величину коефіцієнту переходу навіть при мінімальній довжині палі. В зв'язку з цим весь подальший аналіз виконуємо для найменшого діаметру палі в запас надійності.

Залежність коефіцієнта K1 від довжини палі для піщаних ґрунтів

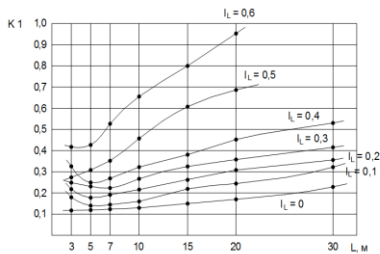


Залежність коефіцієнта K1 від кута внутрішнього кута піщаного ґрунту під нижнім кінцем палі

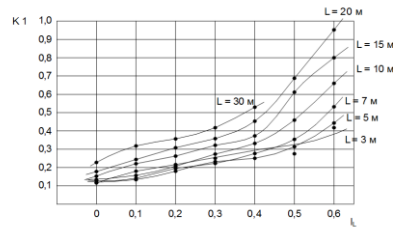


На рисунках 9 та 10 бачимо, що довжина палі та кут внутрішнього тертя (крупність піску) мають вагомий вплив на величину перехідного коефіцієнту, тому ці фактори необхідно врахувати при визначенні остаточного значення коефіцієнту переходу від  $q_s$  до  $R_s$ .

Залежність коефіцієнта K1 від довжини палі для глинистих ґрунтів



Залежність коефіцієнта K1 від показника текучості для глинистих ґрунтів



На плакатах 11 та 12 показано, що впливовими характеристиками для глинистих ґрунтів є довжина палі і показник текучості ґрунту.

Аналіз одержаних результатів і поєднання коефіцієнту K1 з коефіцієнтом переходу  $\beta_1$  за результатами статичного зондування дозволив одержати остаточне значення коефіцієнту переходу від опору під нижнім кінцем зонда до опору під нижнім кінцем бурової палі.

Результати розрахунку остаточного значення коефіцієнту  $\beta$  для переходу від  $q_s$  до  $R_s$  для бурової палі у глинистих ґрунтах

Результати розрахунку остаточного значення коефіцієнту $\beta$ для переходу від $q_s$ до $R_s$ для бурової палі у піщаних ґрунтах			
Значення опору ґрунту під наконечником зонда, $q_s$ , кПа	Коефіцієнт переходу від $R_s$ до $R_s$ , K1		Коефіцієнт переходу від $q_s$ до $R_s$ для бурової палі, $\beta$
	Піщуваті піски	Дрібні піски	
1800	0,457		0,387
2000	0,536		0,447
2200	0,640		0,525
2400	0,735		0,590
2700	0,816		0,640
3000	0,886		0,680
3700		0,361	0,282
4300		0,427	0,295
5000		0,507	0,330
5700		0,576	0,358
6600		0,634	0,372
7500		0,684	0,376
9300		0,853	0,478
12000		0,966	0,583
15000		0,785	0,350
17300		0,849	0,327
20000		0,923	0,300
≥30000		1,000	0,200

Значення опору ґрунту під наконечником зонда, $q_s$ , кПа	Коефіцієнт переходу від $q_s$ до $R_s$ для бурових палей, $\beta$ при значеннях показника текучості ґрунтів					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
≤1000						0,480
1100						0,710
1250					0,240	0,840
1500				0,293	0,270	
1750				0,270	0,310	
2000				0,246	0,504	
2250				0,223	0,570	
2500			0,200	0,200		
3300			0,179	0,250		
4200		0,100	0,155	0,260		
5000		0,083	0,146	0,300		
5700		0,068	0,169	0,305	0,310	
6500		0,051	0,110	0,310		
7100	0,106	0,038	0,065			
8600	0,041	0,040	0,069			
10000	0,030	0,041	0,073			
13000	0,030	0,042	0,077			
20000	0,041	0,054	0,085			
≥30000	0,050	0,070				

На плакаті 13 наведена таблиця таких коефіцієнтів для піщаних ґрунтів, а на плакаті 14 – для глинистих ґрунтів.

Для перевірки достовірності результатів за розробленою методикою були виконані порівняльні розрахунки граничного опору бурової палі за даними статичного зондування та граничного опору палі за статичними випробуваннями для розглянутих майданчиків.

Порівняння несучої здатності бурових палей, визначеної різними методами

Майданчик дослідження	Параметри палі		Грунт під нижнім кінцем	Грунт по бічній поверхні	Несуча здатність палі за результат статичного випробування	Несуча здатність палі за результатами статичного зондування, кН		
	Сторона встановлення	Довжина, м				Діаметр, мм	Поздовжня	Поперечна
с. Чайка Києво-Святошинського району Київської обл., майданчик 1	Бірюки	13,5	620	Пісок середньої крупності, середня щільність	1850,0 297,82 кН	1068 1036 2105	1763 353	213 0
с. Чайка Києво-Святошинського району Київської обл., майданчик 2	Бірюки	16,0	620	Пісок середньої крупності, середня щільність	2200,0 2518,21 кН	1670 1636 3506	1705 710	241 5
м. Бровари Київської обл., вул. Кітківська	Бірюки	12	620	Пісок дрібний, середня щільність	3000,0 3142,86 кН	671 961 1632	980 666	164 8
м. Київ, Печерський р-он, Спортивна площа	Бірюки	10,8	630	Пісок середньої крупності, середня щільність	1950,0 298,9 кН	417 626 1043	2632 1106	403 8
м. Київ, вул. Гуртарівка	Бірюки	16	620	Пісок середньої крупності, середня щільність	2400,0 392,3 кН	966 1449 2415	1672 1200	267 2
м. Київ, Печерський р-он, вул. Староводницька	Бірюки	17	620	Пісок середньої крупності, середня щільність	5000,0 510,3 кН	561 2379 2940	1672 1288	295 0

Результати порівняння наведені у таблиці рисунку 15.

Результати визначення граничного опору бурової палі за даними статичного зондування за запропонованою методикою досить непогано корелюють з теоретичним методом і ближче відповідають результатам статичних випробувань.

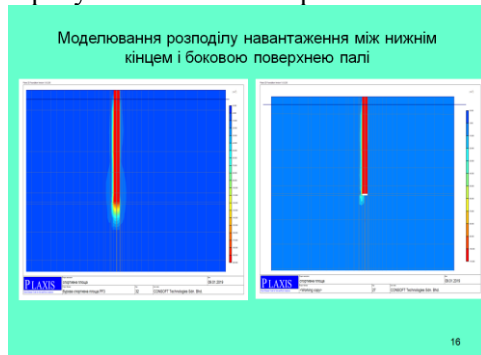
Відмінність результатів теоретичного методу та запропонованої методики полягає у частці, яку складає у загальному опорі нижній кінець та бокова поверхня палі.

За запропонованою методикою частка нижнього кінця як правило вище, ніж за нормами.

Для визначення розподілу навантаження між нижнім кінцем і боковою поверхнею палі було виконане дослідження шляхом математичного моделювання роботи палі в ґрунті за допомогою програмного комплексу Plaxis для чотирьох дослідних майданчиків.

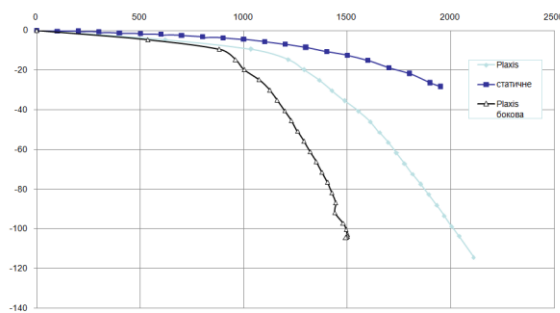
В цьому програмному комплексі передбачений механізм врахування типу палі (забивна чи бурова) шляхом введення по бічній поверхні відповідного понижуючого коефіцієнту. В першому наближенні при моделюванні цей коефіцієнт приймався за таблицею норм.

Для визначення опору по боковій поверхні був застосований прийом, коли під нижнім кінцем палі змодельований простір, що не чинить опору навантаженню. В цьому випадку при моделюванні напружено-деформованого стану ґрунту при роботі палі під навантаженням опір буде виникати лише за рахунок бокової поверхні.



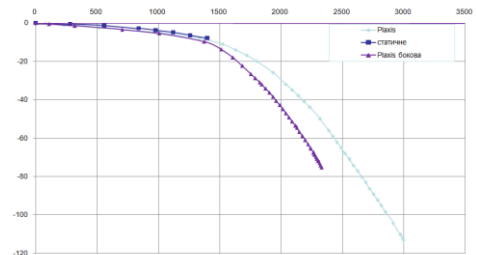
На рисунку 16 для прикладу наведена розрахункова модель палі та ізополя переміщень ґрунту у вертикальному напрямку при роботі бокової поверхні та нижнього кінця та з виведеним з роботи ґрунтом під нижнім кінцем.

Графік залежності «осідання - навантаження» бурової палі при натурному випробуванні та моделюванні для м. Київ, Печерський р-он, Спортивна площа



17

Графік залежності «осідання - навантаження» бурової палі при натурному випробуванні та моделюванні для с. Чайка Києво-Святошинського району Київської обл., майданчик 1



18

На рисунках 17 та 18 для прикладу наведені графіки залежності осідання від вертикального навантаження палі для двох дослідних майданчиків. На кожному графіку наведені три криві: для

натурних випробувань, за результатами моделювання роботи палі в цілому та за результатами моделювання роботи тільки бокової поверхні.

Порівнювались навантаження, які може витримати паля при однакових значеннях осідання.

Результати польових випробувань як правило показують більший результат. Що стосується розподілу зусиль між нижнім кінцем та боковою поверхнею, то за результатами моделювання частка нижнього кінця у роботі палі з ґрунтом складає 20 -30%, що більше відповідає теоретичному методу розрахунку, а не результатам статичного зондування.

### **ВИСНОВКИ**

1. Проаналізовано існуючі методики визначення несучої здатності бурових палей в польових умовах та запропоновано власну методику визначення несучої здатності бурових палей за результатами статичного зондування.

2. Зібрано матеріал по статичним випробуванням бурових палей у польових умовах для майданчиків, на яких паралельно проведено статичне зондування.

3. Порівняно результати визначення несучої здатності палей за даними статичного зондування, станичного випробування палей та теоретичних методів, при цьому виявлено залежність між граничним опором зонду та несучою здатністю бурової палі.

4. Виконане математичне моделювання роботи бурових палей під навантаженням дозволило встановити співвідношення між опором під нижнім кінцем палі і опором по боковій поверхні.

4. Запропонована методика з визначення несучої здатності бурової палі за результатами статичного зондування та використанням перевідних коефіцієнтів, може бути використана проектними організаціями для будівельних майданчиків, де не планується проводити статичні випробування.

## 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: Праектаванне забіуных и набіуныхпалю па вынікахзадзіраваннягрунтоу. Пособие к строительным нормамреспублики Беларусь. Проектирование забивных и набивных свай порезультатам зондирования грунтов. – Минск, 2001.
6. European prestandard ENV 1997-3: 2000. Eurocode 7: Geotechnicaldesign – Part 3: Design assisted by fieldtesting. BSI. 2000.
7. Глазачев А. О. Исследованиевзаимодействия вертикально нагруженных буронабивных свай с основанием и их расчет с использованием статического зондирования: дис. на соисканиеученойстепениканд.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 Маєвська**— канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Volodymyr A. Shunevich** - Masterhr. 2B-17m, Department to fconstruction of the rmalpowerand gas, Vinnytsia National Technical University;

Supervisor **Irina V. Majewska** – can did a te. Sc., assistant professor of departmen to fconstruction, architecture and municipale conomy, Vinnytsia National Technical University. Vinnitsa.