

## РІЗНИЦЯ В РОБОТІ БУРОВИХ І ЗАБИВНИХ ПАЛЬ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

*Проведено випробування статичним навантаженням маломасштабних моделей забивних та бурових палей зі зміною довжини в умовах однорідного ґрунту. Виконаний розрахунок несучої здатності палей за методикою, що рекомендована чинними нормами України [1].*

*Встановлено, що реальна несуча здатність бурових та забивних палей відрізняється від розрахованої за методами, що рекомендовані чинними нормативними документами [1].*

*Метою даної роботи є порівняння роботи забивних та бурових палей під навантаженням на маломасштабному фізичному моделюванні.*

*На основі результатів мало масштабного фізичного моделювання встановлено різницю у роботі бурових та забивних палей, а також підтверджено неточність аналітичних розрахунків несучої здатності палей та вказує на складні процеси взаємодії палей з ґрунтом.*

**Ключові слова:** палий фундамент, ґрунтова основа, забивна палія, бурова палія, статичне навантаження, несуча здатність.

### Вступ

Використання палийових фундаментів, як забивних так і бурових, поширене на території України і в світі, так як має низку переваг в універсальності конструктивних рішень та економічній вигідності їх використання. Аналітичні методи, які використовуються для розрахунку палийових фундаментів базуються на низці спрощень, що не в повній мірі відображає реальну роботу палей в ґрунтових умовах на під дією навантажень. Тому актуальним залишається напрямок дослідження роботи палей в ґрунтових умовах для підвищення точності розрахункових методів та врахування особливостей складних геотехнічних умов та роботи палей під навантаженням.

Аналіз результатів досліджень несучої здатності бурових палей за методикою норм, статичним зондуванням та результатами статичних випробувань [2] показує резерв фактичної несучої здатності палей, що визначена на основі теоретичних розрахунків. Визначено, що в середньому бурові палі мають резерв 20 % порівняно з методикою норм та 15 % порівняно з статичним зондуванням.

Важливим чинником у порівнянні фактичної несучої здатності виступає непостійність передачі навантаження на ґрунт через бічну поверхню та підшову палей. Чисельне моделювання роботи бурової палей на основі результатів випробувань статичним навантаженням [3] показує, що при початковому навантаженні палей, переважно, працює по бічній поверхні (85 – 90% навантаження) і при подальшому навантаженні включається в роботу її підшва і до значення, яке відповідає розрахунковій несучій здатності, а передача навантаження по бічній поверхні стає наближеною до розрахункової (70%).

Похибка величини несучої здатності порівняно з фактичною, визначеною експериментально також не являється постійною, та залежатиме від геометричних характеристик, конструктивних особливостей та умов ґрунту, так як коефіцієнти не в повній мірі враховують ці особливості. Експериментальним шляхом [3] визначено закономірність приросту похибки аналітичного методу розрахунку несучої здатності, яка в становить від 5 до 40% і зростає при збільшенні діаметру забивної палей.

У статті [4] виконаний комплексний розрахунок несучої здатності бурових палей різними методами, враховуючи результати натурних випробувань широкої вибірки палей в діапазоні довжини від 2 м до 19,7 м і діаметром ствола від 0,4 м до 0,83 м. В роботі були використані результати статичних випробувань бурових палей, виконаних у Науково-дослідному інституті будівельного виробництва та Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій м. Київ. Розглянуті результати натурних випробувань 17-ти бурових палей з 10-ти різних майданчиків, які мали різні ґрунтові умови. Результати дослідження свідчать, що розрахунковий опір по боковій поверхні бурових палей у піщаних ґрунтах відрізняється в порівнянні із значеннями розрахунків по чинним нормам. Також авторами встановлено, що несуча здатність бурових палей залежить не тільки від показника текучості для глинистих ґрунтів, а і від коефіцієнту пористості для піщаних, але методика розрахунку наведена в нормативних документах не враховує коефіцієнт пористості.

У статті [5] авторами Гаврилюком О., Кашоїдою О. та Жуком В. реалізовано комп'ютерну симуляцію випробування натурної палей статичним вдавлюючим навантаженням в піщаних ґрунтах для дослідження характеру формування напружено-деформованого стану ґрунтового масиву під п'ятою

палі та вздовж бічної поверхні палі на всіх етапах навантаження. В роботі досліджено характер формування напружено-деформованого стану ґрунтового масиву на всіх етапах навантаження. Також виявлено етапи поступового включення в роботу палі переважно по бічній поверхні та включення складової несучої здатності під п'ятою палі. За результатами дослідження, похибка для величини несучої здатності палі за даними комп'ютерної симуляції не перевищує 5% в порівнянні із даними натурних випробувань, а аналітична методика дала завищений на 40% результат розрахунку несучої здатності.

На даний час було проведено багато експериментальних і фізичних досліджень [2-5], що показують недосконалість існуючих аналітичних методів визначення несучої здатності палей та пальових фундаментів та пропонують удосконалення методів розрахунку для підвищення точності визначення несучої здатності палей на етапі проектування.

### Фізичне моделювання

Фізичне моделювання на маломасштабних моделях має вагомі переваги для дослідження якісної поведінки конструкцій під навантаженням. Дозволяє отримати достовірну та точну оцінку поведінки фундаменту під навантаженням та взаємодію елементів конструкції в наближених до реальних умовах. Також дає широкий вибір варіантів розмірів, розміщення палей та можливість багаторазового повторення.

Моделювання ґрунтової основи виконано в лотку розмірами 1800x1200x1000 мм. В якості ґрунту використовувався пісок середньої крупності ( $\gamma=1,6$  г/см<sup>3</sup>,  $w=0,06$ ). Щільність основи контролювалася за допомогою методу ріжучого кільця, вологість визначалась методом висушування до постійної ваги. Для моделювання палей довжиною 6, 4,5 і 3 м, поперечним перерізом 30x30 см, виготовлено моделі з деревини, діаметром поперечного перерізу 2,5 см і довжиною 20, 30 і 40 см (з загостренням для забивних палей). Масштаб моделювання прийнятий 1:15.

Для передачі навантаження на моделі палей до лотка закріплювалася важільна система зі змінним плечем. Величина осідання замірялася за допомогою прогиномірів, що закріплювались вертикально над палею, що випробовувалась. Розташування моделей палей у лотку та приладів показано на рис. 1.

В ході експерименту на кожен палею прикладалось навантаження з кроком 5 кг до досягнення втрати несучої здатності. Кожен етап навантаження витримувався до умовної стабілізації деформацій, знімалися показники осідання.



Рисунок 1 – Розташування у лотку та навантаження моделей палей

### Результати досліджень

В результаті проведених модельних досліджень було отримано величину осідання моделей одиночних палей під дією статичного навантаження та сформовано порівняльні графіки залежності осідання-навантаження. На рис. 2 зображено графіки залежності осідання-навантаження бурових та забивних палей різної довжини.

На основі графіку осідання визначено несучу здатність палей як величину навантаження, що обмежує прямолінійну ділянку. Отримані значення несучої здатності подано в таблицю табл. 1.

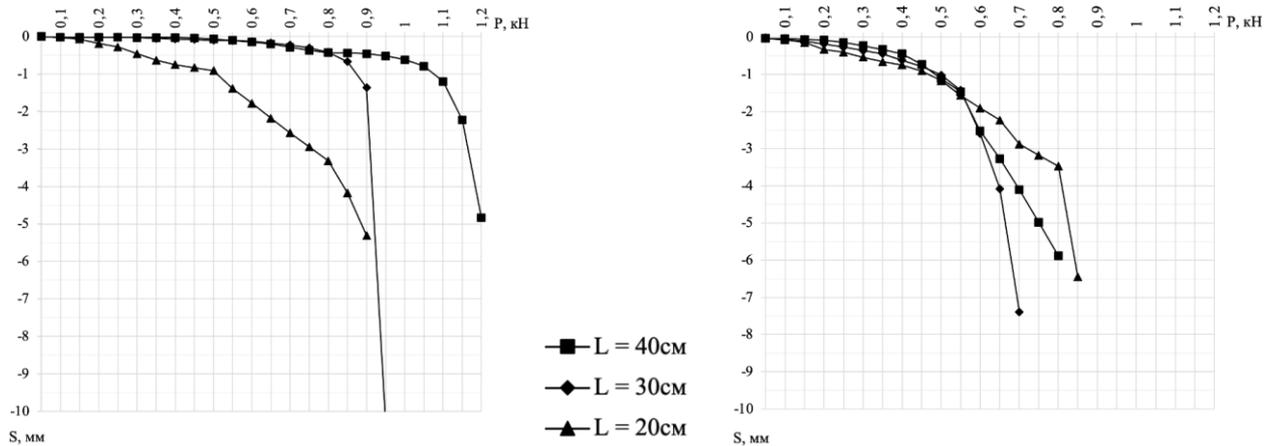


Рисунок 2 – Графіки залежності осідання-навантаження забивних паль (зліва) і бурових (справа)

Таблиця 1

**Осідання бурових та забивних паль за результатами дослідження**

Довжина палі, см	Навантаження, що обмежує лінійну ділянку осідання голови палі	
	Забивної палі, кН	Бурової палі, кН
40	1,1	0,45
30	0,9	0,35
20	0,5	0,2

**Аналітичне дослідження**

Для визначення несучої здатності бурових та забивних паль використовується формула вказана в чинних нормах [1].

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} R A + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i) \quad (1)$$

де  $\gamma_c$  – коефіцієнт умов роботи палі  $\gamma_c = 1$ ;

$\gamma_{cR}$  – коефіцієнти умов роботи ґрунту під нижнім кінцем палі  $\gamma_{cR} = 1$ ;

$\gamma_{cf}$  – коефіцієнти умов роботи ґрунту по боковій поверхні палі, для забивної палі прийнято  $\gamma_{cf} = 1$ , для бурової палі прийнято  $\gamma_{cf} = 0,7$ ;

$R$  – розрахунковий опір ґрунту під нижнім кінцем палі, для забивної палі приймається за таблицею Н.2.1 [1], для бурової палі розраховується за формулою Н.3.2 [1], кПа;

$f_i$  – граничний опір зсуву  $i$ -го шару ґрунту вздовж бокової поверхні палі приймається по таблиці норм [1], кПа;

$h_i$  – товщина  $i$ -го шару що стикається з бічною поверхнею палі, м;

$u$  – периметр палі, м;

$A$  – площа обпирання палі на ґрунт, м<sup>2</sup>.

Розраховано несучу здатність для бурових і забивних паль довжиною 6, 4.5 і 3 м, при дрібному піщаному ґрунті середньої щільності. Отримані в результаті розрахунку значення несучої здатності наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Результати розрахунку несучої здатності бурових та забивних паль при різній довжині**

Довжина палі, м	$F_d$ забивної палі, кН	$F_d$ бурової палі, кН
6	491,63	256,86
4.5	351,75	178,31
3	283,73	139,23

Порівняно з результатами фізичного моделювання несуча здатність порашована аналітичним методом має більший запас та відрізняється у різній пропорції для типів випробуваних паль. Для забивних, паля 6 м довжиною має на 40% більшу несучу здатність ніж з паля 4,5 м і на 73% більшу ніж паля 3 м. Для бурових, паля 6 м довжиною має на 40% більшу несучу здатність ніж з паля 4,5 м і на 81% більшу ніж паля 3 м. Тоді як при фізичному моделюванні забивна паля 4 см довжиною має на 29% більшу несучу здатність ніж з паля 30 см і на 120% більшу ніж паля 20 см. Бурові при тих же умовах мають рівну несучу здатність згідно результатам вимірів осідання. Порівняння отриманих результатів наведено в таблиці табл. 3.

Таблиця 3

### Порівняння результатів аналітичного дослідження та фізичного моделювання

Довжина палі, м		Аналітична несуча здатність, кН		Фактична несуча здатність, кН	
Натуральний розмір	Розмір моделі	забивної	бурової	забивної	бурової
6	0,4	491,63	273,02	1,1	0,45
4.5	0,3	351,75	194,53	0,9	0,35
3	0,2	283,73	150,20	0,5	0,2

### Висновки

- За результатами фізичного моделювання та порівняння його з результатами аналітичного методу розрахунку, видно, що різниця в роботі забивних та бурових одиночних паль відрізняється від прогнозованої аналітичним методом за чинними норми. Це вказує на особливості роботи паль під навантаженням, які не враховує рекомендований нормами аналітичний метод визначення несучої здатності пального фундаменту.
- За аналітичним методом несуча здатність паль зменшується приблизно на 30% при зменшенні довжини палі як для забивних так і для бурових. Натомість фізичне моделювання показує близькі показники до розрахункових значень для забивної палі, а для бурових паль не мали значного зменшення несучої здатності. Тобто врахування умов роботи для бурових паль аналітичним методом для даного набору чинників дає неточний результат.
- Отримані результати підтверджують необхідність уточнення аналітичних методів розрахунку взаємодії палі з ґрунтом під навантаженням. Практичне значення дослідження полягає у можливості розробки та вдосконалення методики проектування палових фундаментів для підвищення їх точності та надійності. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення експериментальної бази, що дозволить удосконалити та підвищити точність аналітичних методів прогнозування поведінки палових фундаментів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] ДБН В.2.1-10-2018. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. [Чинний від 2012-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2009. додаток Н, 128 с.
- [2] Pidlutskiy, V., Gavryliuk, O., & Demidov, V. (2019). Дослідження зміни несучої здатності бурових паль в залежності від методів її визначення. *Основи та Фундаменти / Bases and Foundations*, (39), 33–40. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.39.2019.33-40>.
- [3] Бойко, І., Гаврилюк, О., Кашоїда, О., & Жук, В. (2025). Взаємодія Фундаментів Із Бурових Паль З Основою. *Основи Та Фундаменти / Bases And Foundations*, (50), 13–20. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.50.2025.13-20>.
- [4] Маєвська І. В., Блащук Н. В., Романов С. В. Вдосконалення методики визначення несучої здатності бурових паль // „Будівельні конструкції”: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип.83. – К.: НДІБК, 2016. – с. 616-625.
- [5] Гаврилюк О., Кашоїда О., ЖУК В. (2024). Моделювання взаємодії палі з ґрунтовим середовищем з використанням нелінійної математичної моделі з модифікованим критерієм міцності Кулона-Мора. *Основи та Фундаменти / Bases and Foundations*, (49), 43–54. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.49.2024.43-54>.

### REFERENCES

- [1] DBN V.2.1-10-2018. *Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia*. [Chynnyi vid 2012-07-01]. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2009. dodatok N, 128 s.

- [2] Pidlutskiy, V., Gavryliuk, O., & Demidov, V. (2019). Doslidzhennia zminy nesuchoi zdatnosti burovykh pal v zalezhnosti vid metodiv yii vyznachennia. *Osnovy ta Fundamenti / Bases and Foundations*, (39), 33–40. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.39.2019.33-40>
- [3] Boiko, I., Havryliuk, O., Kashoida, O., & Zhuk, V. (2025). Vzaiemodiia Fundamentiv Iz Burovykh Pal Z Osnovoiu. *Osnovy Ta Fundamenti / Bases And Foundations*, (50), 13–20. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.50.2025.13-20>
- [4] Maievska I. V., Blashchuk N .V., Romanov S. V. Vdoskonalennia metodyky vyznachennia nesuchoi zdatnosti burovykh pal // „Budivelni konstruktsii”: Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – Vyp.83. – K.: NDIBK, 2016. – s. 616-625.
- [5] Havryliuk O., Kashoida O., ZhUK V. (2024). Modeliuvannia vzaiemodii pali z gruntovym seredovyschem z vykorystanniam neliniinoi matematychnoi modeli z modyfikovanim kryteriiem mitsnosti Kulona-Mora. *Osnovy ta Fundamenti / Bases and Foundations*, (49), 43–54. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.49.2024.43-54>

**Перебийніс Михайло Володимирович** — аспірант, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [Mishauavn@gmail.com](mailto:Mishauavn@gmail.com)

**M. Perebyinis**

## DIFFERENCE IN THE OPERATION OF BORED AND DRIVEN PILES ACCORDING TO THE RESULTS OF PHYSICAL MODELING

Vinnitsia National Technical University

*A static load test of small-scale models of driven and bored piles with a change in length in conditions of homogeneous soil was carried out. The bearing capacity of the piles was calculated using the method recommended by the current standards of Ukraine [1].*

*It was established that the real bearing capacity of bored and driven piles differs from that calculated using the methods recommended by the current regulatory documents [1].*

*The purpose of this work is to compare the operation of driven and bored piles under load in small-scale physical modeling.*

*Based on the results of small-scale physical modeling, the difference in the operation of bored and driven piles was established, and the inaccuracy of analytical calculations of the bearing capacity of piles was confirmed and indicates the complex processes of pile-soil interaction.*

**Key words:** pile foundation, soil base, driven pile, bored pile, static load, bearing capacity.

**Mykhailo Perebyinis** — Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsya national technical university, Vinnitsya, email : [Mishauavn@gmail.com](mailto:Mishauavn@gmail.com).