

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІЗНИХ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ ОСІДАННЯ ПАЛЬ

Вінницький національний технічний  
університет

### *Анотація*

Виконано порівняльні розрахунки осідання забивних та бурових паль за методиками українських та російських норм. Показано, що в більшості випадків теоретичні методики дають завищене значення деформації, а для бурових паль у піщаних ґрунтах – занижене значення.

**Ключові слова:** паля, осідання, умовний фундамент, пружне середовище

### *Annotation*

Comparative calculations of sedimentation of hammering and drilling piles according to the methods of Ukrainian and Russian norms were performed. It is shown that in most cases theoretical methods give an overestimation of the deformations, and for drilling piles in sandy soils - an underestimated value.

**Keywords:** piles, sediment, conditional foundation, resilient environment

### **Вступ**

Незважаючи на тривалий досвід застосування палевих фундаментів та значну кількість досліджень взаємодії паль з ґрунтом, методи розрахунків одиночних паль та палевих фундаментів за першою та другою групами граничних станів мають недостатню достовірність. В окремих випадках похибка у визначенні несучої здатності,  $F_d$ , і осідання паль,  $s$ , сягає 300 % [1].

Найвні інженерні методи розрахунку осідання паль і палевих фундаментів базуються на припущеннях, в яких не враховані ті чи інші важливі аспекти напружено-деформованого стану системи «паля – ґрунтова основа». Спрощеність розрахункових схем призводить до невідповідності отриманих за розрахунками величин даним натурних спостережень. Тобто актуальною проблемою залишається удосконалення методики визначення осідання паль при вертикальному навантаженні, що ґрунтується на основних закономірностях взаємодії паль і палевих фундаментів з основою, забезпечує прийнятну точність результатів і є достатньо простою і наочною.

У даній роботі поставлена задача проаналізувати існуючі в різних нормах [2 - 4] методики розрахунку осідань паль і порівняти їх результати з даними статичних випробувань паль в натурних умовах.

### **Результати дослідження**

При вирішенні поставленої задачі були використані результати статичних випробувань бурових, буроін'єкційних та забивних паль, виконаних у Науково-дослідному інституті будівельного виробництва, Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій м. Київ, та ЧП «Регіонспецбуд» м. Харків. Розглянуті результати натурних випробувань 4 бурових паль, 3 буроін'єкційних та 2 забивних паль з 8-ми різних площадок. Райони випробувань знаходяться в таких містах: м. Київ, с. Чайка Київської області та м. Харків. Майданчики мали різні ґрунтові умови з спіранням паль як на піщані, так і на глинисті ґрунти. Випробовувались палі різної довжини. Довжини паль знаходяться в діапазоні від 8,4 до 33,4 м. Діаметр ствола паль знаходиться в межах від 0,35 м до 0,83 м, одна з бурових паль має розширення в зоні нижнього кінця. Забивні палі мають переріз 0,3x0,3 м. Навантаження, яке може витримати конкретна паля, визначалося при досягненні межі осідання  $s = 40$  мм.

Виконано порівняння осідань паль за даними випробувань з осіданнями, визначеними за рекомендованими чинними нормативними документами інженерними методиками України [2] та Росії [3, 4].

Чинними українськими нормами [2] рекомендовано два методи розрахунку осідання палі: метод стержня в пружному півпросторі та метод умовного фундаменту, причому метод умовного фундаменту рекомендується використовувати для забивних палей довжиною до 10...12 м. В даному дослідженні метод умовного фундаменту був проаналізований для всіх видів дослідних палей.

Чинними російськими нормами [3, 4] крім метода умовного фундаменту, який пропонується використовувати для великих палевих груп, рекомендовані два методи розрахунку осідань для одиночних палей: метод, регламентований СП 50-102-2003 [3] та метод, регламентований [4] або додатком 4 відміненого СНиП [5].

За результатами випробувань та розрахунків будувались графіки осідання-навантаження для всіх дослідних палей.

На рис. 1 - 4 для прикладу представлені результати порівняння залежностей осідання-навантаження, визначених розрахунками за методиками норм [2 - 4], та залежностей осідання-навантаження за результатами польових випробувань статичним навантаженням для чотирьох дослідних палей. У таблиці 1 наведені результати порівняльних розрахунків.

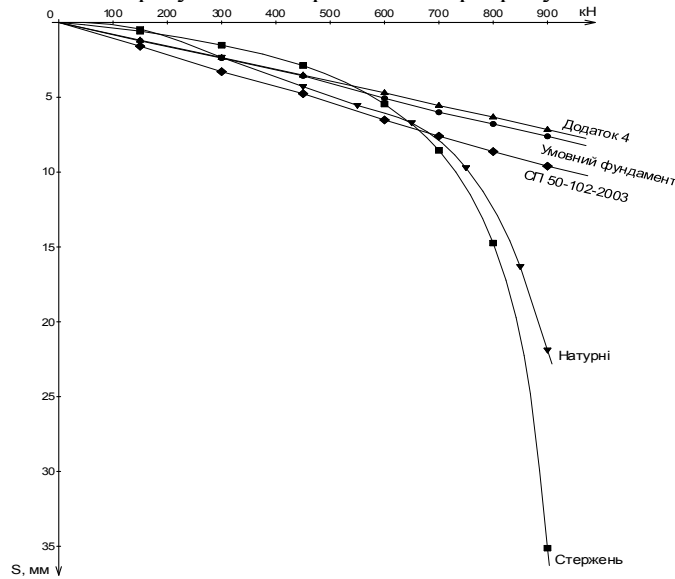


Рис 1. Залежність осідання – навантаження для забивної палі по вул. Бажана в м. Київ, яка спирається на пісок дрібний

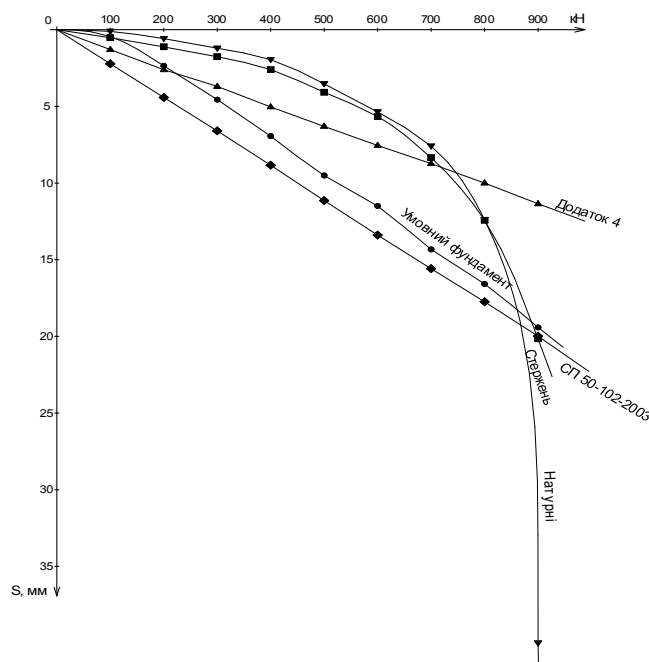


Рис. 2. Залежність осідання – навантаження для забивної палі по пров. Рогатинський в м. Харків, яка спирається на глину

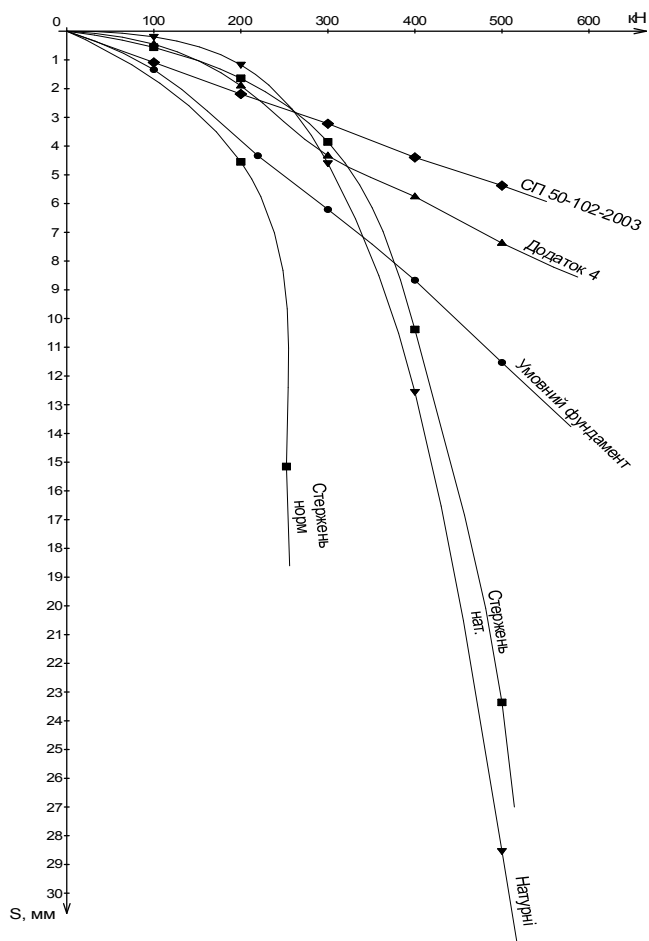


Рис. 3. Залежність осідання – навантаження для бурової палі в м. Бобровиця Київської обл., яка спирається на супісок

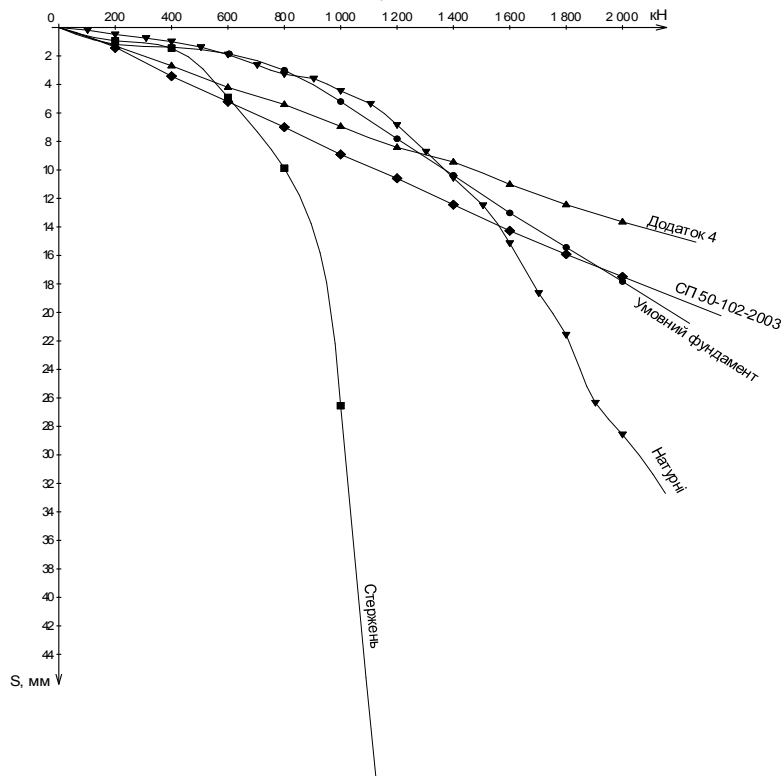


Рис. 4. Залежність осідання – навантаження для бурової палі в м. Київ, Спортивна площа (ИС-2), яка спирається на пісок пилуватий щільний

Таблиця 1 - Результати порівняльних розрахунків осідання палі різними методами з даними статичних випробувань натурних палі

№ досліду	Майданчик розміщення палі	Параметри палі			Грунт під нижнім кінцем палі	Грунти по бічній поверхні палі	Осідання палі при навантаженні, яке дорівнює несучій здатності, визначеної теоретичним шляхом ( $F_d$ ), мм				
		вид палі	довжина, м	діаметр або сторона, м			при натурних випробуваннях	за методом умовного фундаменту	за методом стержня в пружному півпросторі	за СП 50-102-2003	За дод. 4 СНиП 2.02.03-85
1	м. Київ, Печерський р-он, Спортивна площа, ІС-1	Бурова з розширенням	33,4	0,83 1,60	Глина, $I_L = 0,17$ ; $E = 22$ МПа	Пісок пил., суглинок, пісок сер.	23,0	21,0	>40	35,0	>40
2	“ ІС-2	Бурова	10,8	0,83	Пісок пил., щільний, $E = 20$ МПа	Суглинок, пісок сер.	4,2	5,0	20,0	8,5	7,0
3	м. Київ, Печерський р-он, вул. Мечникова, ІС-2	Буроін'єкційна	23,0	0,62	Глина, $I_L = 0,11$ ; $E = 30$ МПа	Супісок, пісок пил., суглинок	5,0	10,2	26,0	13,0	14,0
4	Київська обл., с. Чайка	Бурова (буріння насухо)	20,0	0,62	Пісок сер. круп., $E = 35$ МПа	Пісок сер. крупн.	20,0	6,0	30,0	15,0	12,0
5	м. Київ, Голосіївський р-он, вул. Трутенко, ІС-1	Буроін'єкційна	16,0	0,62	Глина тверда, $I_L < 0$ ; $E = 20$ МПа	Супісок, пісок дрібн.	3,0	18,5	25,0	16,0	11,3

Продовження таблиці 1

№ до-слід-у	Майданчики розміщення дослідних палей	Параметри палей			Грунт під нижнім кінцем палей	Грунти по бічній поверхні палей	Осідання палей при навантаженні, яке дорівнює несучій здатності, визначеної теоретичним шляхом ( $F_d$ ), мм				
		вид палей	довжина, м	діаметр або сторона, м			при нагурних випробуваннях	за методом умовного фундаменту	за методом стержня в пружному півпросторі	за СП 50-102-2003	За дод. 4 СНиП 2.02.03-85
6	Київська обл., м. Бобровиця, ИС-1	Бурова	10,0	0,35	Супісок з вкл. жорстви, $I_L = 0,76$ ; $E = 25$ МПа (через 2,0 м $E = 8,2$ МПа)	Супісок, суглинок	2,4	4,5	8,0	2,6	3,3
7	м. Харків, пров. Рогатинський, ОЗС 3	Забивна	8,4	0,3x0,3	Глина, $I_L = 0,17$ ; $E = 14$ МПа	Суглинок, пісок дрібн.	40,0	19,3	20,5	20,0	10,2
8	м. Київ, Дарницький р-он, вул. Бажана, ИСЗ-3	Забивна	9,85	0,3x0,3	Пісок дрібний, $E = 29$ МПа	Пісок дрібний	12,0	6,8	14,6	8,6	6,5
9	м. Київ, Дарницький р-он, вул. Григоренко, ИСЗ-3	Буроін'єкційна	16,0	0,62	Пісок різнозерн., щільний, $E = 32$ МПа	Пісок пилуватий	40,0	9,6	4,3	13,0	9,8

Метод стержня в пружному півпросторі, запропонований українськими нормами [2], враховує нелінійний характер деформацій основи палі за межами межі пропорційності, решта методів засновані на пружній моделі ґрунту незалежно від прикладеного навантаження. Перевагою методу стержня в пружному півпросторі є також врахування деформацій ствола палі при дії стискуючого навантаження.

Аналіз використання метода стержня в пружному півпросторі (рис. 1 - 4, табл. 1) показав, що добру збіжність з результатами натурних випробувань він дає як раз для забивних паль довжиною до 10 м. Для бурових паль, особливо великої довжини, метод дає завищені значення. Однією з причин таких результатів є низька точність теоретичних методів визначення несучої здатності палі ( $P_u$ ) та межі пропорційності на графіку осідання – навантаження ( $P_e$ ), заснованих на теоретичному значенні допустимого навантаження на палю  $F_d$ . За рекомендаціями [1, 2] ці значення слід визначати за результатами натурних випробувань ґрунтів палями, а теоретичними емпіричними формулами користуватись за їх відсутності. Спроба побудови залежності осідання – навантаження за методом стержня в пружному півпросторі, заснованого на дослідних даних  $P_u$  та  $P_e$ , показала значне покращення збіжності результатів з натурними випробуваннями. На рис. 3 наведені дві криві осідання-навантаження за методом стержня в пружному півпросторі: перша з використанням дослідних даних  $P_u$  та  $P_e$ , а друга з використанням теоретичних формул норм. Для наведеного на рис. 3 прикладу маленької бурової палі (довжина 10 м, діаметр 0,35 м) використання дослідних даних призвело до практичної збіжності з результатами статичних випробувань натурної палі. Для паль більшої довжини використання дослідних даних наближає результати розрахунку осідання до фактичних, але все рівно вони виявляються завищеними. При цьому слід зауважити, що за наявності польових випробувань потреба в теоретичній методиці визначення осідання практично відпадає.

Метод умовного фундаменту переважно дає завищені значення осідань на початкових стадіях навантаження палі, але при наближенні до граничного значення навантаження дає прийнятні для практики прогнози величини осідання. Недоліком методу є те, що при відсутності дослідних даних статичного випробування палі граничне значення навантаження визначається доволі приблизно з імовірною значною похибкою. Слід відзначити, що для довгих паль, розташованих у піщаних ґрунтах (дослідні палі № 4 та 9), метод умовного фундаменту дає занижені значення. Хоча занижені значення для таких паль дають практично всі проаналізовані методики. Можливо це пов'язане з неточністю визначення модуля деформації піщаного ґрунту.

Методи російських норм мають такі самі недоліки, як і метод умовного фундаменту.

Одним з варіантів вдосконалення визначення напружено-деформованого стану (НДС) системи «палі – основа» є застосування чисельного моделювання. Планом подальшого дослідження є застосування програмного комплексу «Plaxis 3D Foundation», за допомогою якого моделюватиметься напружено-деформований стан системи.

### Висновки

1. Осідання одиночних паль під дією навантаження, рівного несучій здатності ґрунту її основи  $F_d$ , визначені за рекомендаціями чинних нормативів, у більшості випадків перевищують дослідні на величину 20 -200%. Для довгих паль на піщаних ґрунтах теоретичні значення осідань занижені.
2. Характер кривих розрахункових осідань, отриманих за рекомендаціями чинних нормативів, за виключенням методу стержня в пружному півпросторі, лінійний, що не відповідає дійсному графіку осідань. Така невідповідність може призвести до значних похибок у визначенні деформованого стану споруд.
3. Методики розрахунку осідань паль потребують вдосконалення..

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мелашенко Ю. Б. Взаємодія пальових фундаментів з ґрунтовою основою при вертикальному навантаженні: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.02 / Ю. Б. Мелашенко; Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК). - Київ, 2009. - 20 с.
2. 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. – (Національні стандарти України).
3. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов» - М.: Госстрой России, 2004. – 102 с.

4. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты : актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – [Введен в действие с 2011–05–20]. – М.: Минрегион России, 2010. – 48 с.

5. Свайные фундаменты : СНиП 2.02.03-85. – [Введен в действие с 1–01–1987. Отменен с 1.07.11]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.

**Шевчук Василь Васильович** — магістрант гр. Б-18мі, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет. Вінниця, e-mail: [viryss2009@ukr.net](mailto:viryss2009@ukr.net).

Науковий керівник: **Ірина Вікторівна Масєвська** — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [irina.-mayevskaja@gmail.com](mailto:irina.-mayevskaja@gmail.com).

**Vasyl Shevchuk** - Master hr. B-18mi, 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.