

## **МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦІЇ ГЛИНИСТОГО ГРУНТУ ПІД НИЖНІМ КІНЦЕМ ПАЛІ**

Малишев О.В.

Київський національний університет будівництва та архітектури  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Підтверджено на основі даних статичних випробувань натурних паль-штампів, високі значення модуля деформації під нижнім кінцем палі, що змінюються в залежності від величини нормального тиску, в порівнянні з нормативним значенням, що пропонується використовувати діючими нормами при розрахунку паль за деформаціями основи.

**АННОТАЦИЯ:** Подтверждены, на основании данных статических испытаний натурных свай-штампов высокие значения модуля деформации под нижним концом сваи, которые изменяются в зависимости от величины нормального давления, по сравнению с нормативным значением, которое предлагается использовать действующими нормами при расчете свай по деформациям основания.

**ABSTRACT:** High values of the deformation modulus under the bottom end of a piles are confirmed on the basis of these static tests in-situ pile-stamps, which vary from the value of normal pressure in comparison with normative value which suggest to use existing standards in the calculation of deformation of piles foundation.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Статичні випробування, паля-штамп, несуча здатність, нижній кінець, модуль деформації, осідання.

### **ВСТУП**

Визначення несучої здатності паль за властивостями ґрунтової основи можливо лише при використанні розрахункових аналітичних методів, що характеризуються значними похибками, або за результатами польових випробувань, які поряд з високою точністю і

надійністю мають високу вартість, трудомісткість та матеріаломісткість. Більшість нормативних та розрахункових методів не дають можливості визначити несучу здатність палі з необхідною точністю, і лише деякі з них дозволяють виконати розрахунок паль за II групою граничних станів, а також побудувати графік залежності  $S=f(P)$ . При цьому пропонується використовувати або нормативні значення деформаційних характеристик ґрунтів, або визначені експериментально для кожної окремої палі [1], що не є доцільним та раціональним.

## ОГЛЯД ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Порівнюючи графік  $S=f(P)$  для незаглибленого фундаменту на піщаній основі з аналогічним графіком для фундаментів глибокого закладання і палі в загальному вигляді, можна стверджувати, що характер їх кривих є аналогічним. Проте графік роботи нижнього кінця палі, що працює як окремий елемент, має цілий ряд особливостей. Так при заглибленні палі в ґрунт під її нижнім кінцем утворюється ущільнене ґрунтове ядро [2]. Процеси, характерні для ґрунтової основи під звичайним заглибленим штампом в фазі ущільнення, зсуву та випору під нижнім кінцем палі, вже пройшли в процесі її заглиблення. А.А. Ободовський [3] вказує на те, що при однаковій величині осідання нижнього кінця палі та заглибленого на таку саму глибину штампу, питомий опір під нижнім кінцем палі приблизно в десять разів перевищує питомий опір під штампом. Це вказує на те, що процес деформації ґрунтової основи під нижнім кінцем палі має інший характер і пов'язаний з зсувом переущільненого ґрунту при високому нормальному тиску. Цілком очевидним є те, що модуль деформації під нижнім кінцем палі також повинен мати досить високі значення, в порівнянні з штамповими випробуваннями.

**Основною проблемою, котрій присвячується дана стаття** є неможливість використання в нормативному та інших методах розрахунку паль за другою групою граничних станів значень модуля деформації, визначеного на основі даних штампових випробувань.

**Мета роботи** – визначити, на основі експериментальних польових досліджень натурних паль-штампів, модуль деформації під нижнім кінцем палі, порівняти його з нормативним значенням, наведеним в звіті з інженерно-геологічних вишукувань, і значеннями, що використовуються при нормативному методі розрахунку паль за деформаціями основи [4], підтвердити його високі значення, що змінюються в залежності від величини навантаження.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення модуля деформації під нижнім кінцем натурних паль-штампів було використано результати польових досліджень несучої здатності паль, проведених П.П. Личовим [5]. Дослідний майданчик, на якому були проведені випробування, знаходиться на західній околиці м. Умань в межах вододільного плато річки Кам'янки та річки Уманки. Основні нормативні значення фізико-механічних показників ґрунтів дослідного майданчика наведено в табл. 1.

Таблиця 1 Нормативні значення показників фізико-механічних властивостей ґрунтів

Номер ПЕ	Характеристика ПЕ	Щільність природного ґрунту, $\rho$ , т/м <sup>3</sup> (г/см <sup>3</sup> )	Прир. вологість, W	Коеф. пористості, e	Границя		Питоме зчеплення, $c_n$ , кПа	Кут внутрішнього тертя, $\varphi_n$ , град	Модуль деформації, E, МПа
					Коеф. текучості, $W_L$	Коеф. пластичності, $W_P$			
2	Супісок лесовий	1,60	0,131	0,90	0,25	0,19	25	27,5	13
26	Супісок лесовидний	1,70	0,118	0,75	0,25	0,20	17	28,0	27
3	Пісок середньої крупності	1,74	0,057	0,61	-	-	-	31,4	-
4	Суглинок лесовий	1,77	0,147	0,74	0,24	0,17	23	27,8	14
6	Супісок морений	1,98	0,124	0,52	0,21	0,14	40	27,0	43

В якості дослідних паль використовувалися палі-штампи квадратного поперечного перерізу, розміром 30х30 см, довжиною 9 м, матеріалом яких був залізобетон. Посадку паль на інженерно-геологічний розріз та графіки залежності осідання від навантаження, побудовані для нижнього кінця палі, представлено на рис. 1 та рис. 2.

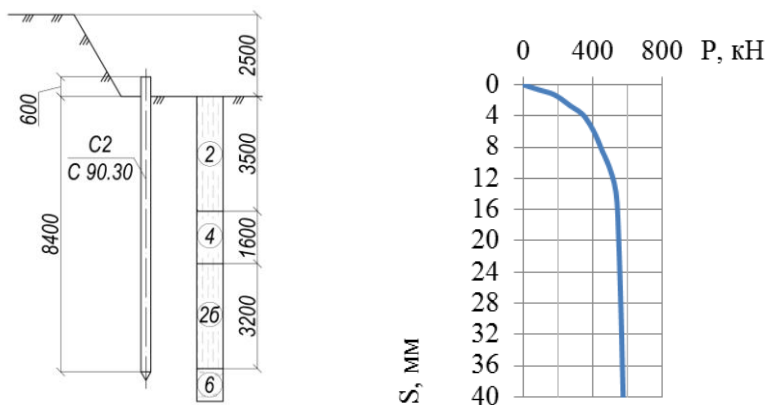


Рис. 1. Посадка палі C2 на інженерно-геологічний розріз та графік залежності  $S=f(P)$ , для нижнього кінця палі

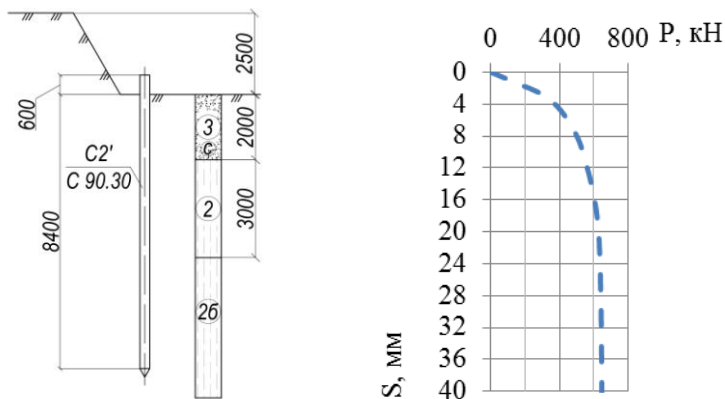


Рис. 2. Посадка палі C2' на інженерно-геологічний розріз та графік залежності  $S=f(P)$ , для нижнього кінця палі

Значення модулів деформації під нижнім кінцем двох призматичних палей-штампів C2 та C2' квадратного поперечного перерізу визначалися відповідно до формули, наведеної в [6]:

$$E = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta p}{\Delta s} \quad (1)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона, який для супісків приймався рівним 0,30;

$K_p$  – коефіцієнт, що приймається в залежності від заглиблення штампа, в нашому випадку він приймався рівним одиниці;

$D$  – діаметр штампа, що усереднено приймався рівним 0,36 м;

$K_1$  – дорівнював 0,79 – як для жорсткого круглого штампа;

$\Delta p$  - приріст тиску на штамп, що дорівнює  $p_n - p_o$ ; в якості  $p_o$  приймалося нульове значення, в якості  $p_n$  приймалося значення, що змінювалося в інтервалі від 1 до 7 МПа з кроком 1 МПа;

$\Delta S$  – приріст осідання штампа, що відповідає  $\Delta p$ , см.

Результати розрахунків, приведені в табл. 2, вказують на досить високі значення модулів деформації  $E$  при початкових значеннях тиску, зменшення яких відбувається при збільшенні тиску під подошвою штампу. При цьому, для нижнього кінця палі С2, при тиску 1-2 МПа, та нижнього кінця палі С2', при тиску 1-3 МПа, відзначаються однакові значення модулів, що вказує на лінійну залежність між напруженнями та деформаціями, яка при перевищенні певних значень переходить до нелінійної.

Таблиця 2

Значення змінних модулів деформації під нижнім кінцем паль-штампів

$\Delta p$ , МПа		0	1	2	3	4	5	6	7
Паля С2	$\Delta S$ , мм	0	0,64	1,29	2,68	4,28	8,25	15,10	-
	$E$ , Мпа	0	402	402	290	241	156	102	-
Паля С2'	$\Delta S$ , мм	0	0,81	1,63	2,44	3,71	6,08	10,27	20,64
	$E$ , Мпа	0	318	318	318	278	213	151	87

До виразу за яким, відповідно до вимог норм [4], розраховується приведений модуль деформації ґрунту  $E$ , входить осереднений у межах довжини палі модуль деформації ґрунтової основи  $E_f$ , який для палі С2 дорівнює 19 МПа, а для палі С2' – 24 МПа, та модуль деформації  $E_p$  під нижнім кінцем палі-штампу, що визначається в межах одного діаметру вище і чотирьох діаметрів нижче позначки нижнього кінця палі, і складає: для палі С2 – 41 МПа, для палі С2' – 27 МПа. Таким чином приведений модуль деформації ґрунту  $E$  для палі С2 складає 82 МПа, для палі С2' – 46 МПа. Нормативне значення модуль деформації, відповідно до звіту інженерно-геологічних вишукувань,  $E_H$  на рівні вістря палі-штампу С2 становить 43 МПа, а для палі-штампу С2' – 27 МПа.

Порівняння змінних модулів деформації, визначених в залежності від тиску під нижнім кінцем палі-штампу (табл. 2), з нормативним значенням, наведеним в звіті з інженерно-геологічних вишукувань, та значеннями, що використовуються для розрахунку осідання палі за вимогами норм [4], наведено в табл. 3. За 100 % прийнято значення модуля деформації, визначеного експериментально, під нижнім кінцем паль-штампів.

Дані табл. 3, вказують на те, що нормативні значення модулів деформації ( $E_H$ ) на рівні нижнього кінця палі, визначені за даним інженерно-геологічних вишукувань, можуть бути від 58 до 92 %

меншими від експериментальних ( $E_E$ ). Значення модулів деформації, визначені за вимогами норм, мають відхилення від експериментальних даних: під нижнім кінцем палі ( $E_p$ ) – від 60 до 92 %, осереднений у межах довжини палі ( $E_f$ ) – від 72 до 95 %, приведений ( $E$ ) – від 20 до 86 %.

Таблиця 3

Відхилення значень модулів деформації, визначених за різними методиками, від експериментальних даних, %

Тиск під нижнім кінцем палі Р, МПа	Визначений експериментально $E_E$ , МПа	Нормативне значення $E_H$ , МПа	Під нижнім кінцем палі (відповідно до ДБН В.2.1-10-2009), $E_p$ , МПа	Осереднений у межах довжини палі (відповідно до ДБН В.2.1-10-2009) $E_f$ , МПа	Приведений модуль деформації, визначений відповідно до ДБН В.2.1-10-2009, $E$ , МПа
<b>Паля-штамп С2</b>					
1	100%	89%	90%	95%	80%
2	100%	89%	90%	95%	80%
3	100%	85%	86%	93%	72%
4	100%	82%	83%	92%	66%
5	100%	72%	74%	88%	47%
6	100%	58%	60%	81%	20%
7	100%	-	-	-	-
<b>Паля-штамп С2'</b>					
1	100%	92%	92%	92%	86%
2	100%	92%	92%	92%	86%
3	100%	92%	92%	92%	86%
4	100%	90%	90%	91%	83%
5	100%	87%	87%	89%	78%
6	100%	82%	82%	84%	70%
7	100%	69%	69%	72%	47%

Отримані результати вказують на неможливість правильного визначення осідання палі з використанням нормативних, в рівні вістря або усереднених вздовж стовбура палі, значень модуля деформації. Таким чином методика розрахунку палі за другою групою граничних станів має враховувати реальні значення модуля деформації під нижнім кінцем палі, який змінюється від величини навантаження, що передається через нього. Це дозволить не лише визначити величину

осідання палі при певному значенні навантаження на неї, а й побудувати графік залежності  $S=f(P)$ .

## ВИСНОВКИ

1. Модулі деформації під нижнім кінцем палі, визначені за результатами випробувань натурних паль-штампів в глинистих ґрунтах, в залежності від величини нормального тиску, мають достатньо високі значення, що можуть перевищувати 400 МПа, в порівнянні зі значеннями, отриманими за результатами штампових випробувань.

2. Значення модулів деформації під нижнім кінцем палі, визначені експериментально при різних значеннях нормального тиску, до 92% перевищують значення, визначені за показниками інженерно-геологічних вишукувань, і які пропонується використовувати діючими нормативними документами при розрахунку паль за деформаціями основи.

3. Результати проведених досліджень вказують на необхідність врахування, при розрахунку паль за II групою граничних станів, реальних значень модуля деформації ґрунту, що змінюється в залежності від величини прикладеного до палі навантаження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Савинов А.В. Применение свай, погружаемых вдавливанием, для усиления и устройства фундаментов в условиях реконструкции исторической застройки г. Саратова: учеб. пособие / А.В. Савинов. - Саратов: Гос. техн. ун-т, 2000. - 124 с.
2. Горбунов-Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов. - М.: Госстройиздат, 1953. - 628 с.
3. Ободовский А.А. Некоторые вопросы дальнейшего повышения несущей способности свай / А.А. Ободовский // Строительство и архитектура. - М., 1965. - №7.
4. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Зміна №1: ДБН В.2.1-10-2009. - [Чинний від 2011-07-01]. - К.: Укрархбудінформ, 2011. - 55 с.
5. Лычев П.П. Экспериментальные исследования несущей способности свай в лессовых грунтах некоторых пунктов лесостепной части Приднепровской возвышенности: дис. ... канд. техн. наук: 624.15 / П.П. Лычев. - К., 1971. - 254 с.
6. Ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності і деформованості: ДСТУ Б В.2.1-7-2000. - [Чинний від 2000-10-09]. - К.: Укрархбудінформ, 2001. - 81 с.

Стаття надійшла до редакції 25.09.2013 р.