

УДК 624.131

РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАВАНТАЖЕНИХ ПАЛЬ ЗА ВЛАСТИВОСТЯМИ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ

Викладені співвідношення для визначення розрахунком несучої здатності одиночних та спарених ростверком палей на горизонтальні навантаження. Результати розрахунків узгоджуються з випробуваннями залізобетонних та сталевих палей.

Abstract. Results ratios to calculate the bearing capacity of single and twin raft piles on the horizontal load. The calculation results are in good agreement with the tests of concrete and steel piles.

Ключові слова: несуча здатність, палі, горизонтальні навантаження.

У відповідності з п. 8.5.2.24 ДБН В.2.1-10-2009 [1] одиночну палю у складі фундаменту і поза ним за несучою здатністю ґрунтів основи слід розраховувати з наступної умови:

$$N \leq F_d / \gamma_k,$$

де F_d – несуча здатність палі на вертикальні навантаження за властивостями ґрунтової основи, γ_k – коефіцієнт надійності згідно з п. 8.5.2.25; N – розрахункове вертикальне навантаження, що допускається на палю при визначенні їх кількості в палевому фундаменті.

Якщо палевий фундамент сприймає горизонтальні навантаження, тоді, вочевидь, одиночну палю у складі фундаменту і поза ним за несучою здатністю ґрунтів основи слід розраховувати з умови:

$$H \leq F_d / \gamma_k, \quad (1)$$

де H – відповідно розрахункове горизонтальне навантаження, що допускається на палю при визначенні їх кількості в палевому фундаменті і F_d – несуча здатність палі на горизонтальні навантаження за властивостями ґрунтової основи.

В [1] відсутні співвідношення для визначення розрахунком несучої здатності палей на горизонтальні навантаження за властивостями ґрунтової основи. В нормативних документах РФ [2, 5] такі співвідношення також відсутні.

У відповідності з п. 5.1.1. ДСТУ Б В.2.1-27 [4] несучу здатність натурних палей по ґрунту F_d , кН, за результатами їх випробувань горизонтальним статичним навантаженням слід визначати за формулою

$$F_d = \gamma_C \cdot F_{u,n} / \gamma_g, \quad (2)$$

де γ_C, γ_g – відповідно коефіцієнти умов роботи і надійності по ґрунту; $F_{u,n}$ – нормативне значення граничного опору палі, кН, яке визначається згідно з п. 5.1.6 [4]. В примітці до цього пункту зазначено: «Результати статичних випробувань



Т.І. Матченко

провідний інженер відділу автоматизованого проектування ПАТ Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», к.т.н.



Л.Б. Шаміс

начальник відділу автоматизованого проектування ПАТ Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект»

палей на горизонтальні навантаження можуть бути використані для безпосереднього визначення розрахункового навантаження, що допускається на палю, якщо умови випробувань відповідають фактичним умовам роботи палей у фундаменті будівлі або споруди».

У п. 5.1.2 [4] зазначено: «У випадку, якщо кількість палей, випробуваних в однакових ґрунтових умовах менше шести, нормативне значення граничного опору палі у формулі (1) слід приймати таким, що дорівнює найменшому граничному опору, отриманому за результатами випробувань, тобто: $F_{u,n} = F_{u,\min}$, а коефіцієнт надійності по ґрунту $\gamma_g = 1$.

У випадку, якщо кількість палей, випробуваних в однакових умовах, шість і більше, $F_{u,n}$ і γ_g слід визначати за результатами статичної обробки окремих значень граничних опорів палей F_u , отриманих за даними випробувань, керуючись вимогами ДСТУ Б В.2.1-5 щодо методики визначення тимчасового опору. При цьому для визначення окремих значень граничних опорів слід керуватися вимогами п. 5.1.6 – при висмикувальних і горизонтальних навантаженнях».

Згідно з пунктом 5.1.6 [4] «При випробуваннях палі статичним висмикуванням або горизонтальним навантаженням за окреме значення граничного опору F_u (див. 5.1.2) за графіками залежності переміщень від навантажень приймають навантаження на один ступінь менше навантаження, що викликає безперервне зростання переміщення палі».

Зазначимо, що безперервне зростання переміщення палі в горизонтальному напрямку може виникати при малій довжині палі або у випадку її руйнування.

У п. 8.6.4 ДСТУ Б В.2.1-1 [3] зазначено: «Нагрузка при испытании грунтов горизонтальной нагрузкой при инженерных изысканиях для строительства должна быть доведена до значення, вызывающих горизонтальное перемещение сваи не менее 40 мм на уровне приложения нагрузки, назначенной программой испытаний».

Таким чином, окреме значення граничного опору F_u палі по ґрунту на горизонтальне навантаження визначається за результатами випробувань при виконанні однієї з умов:

- досягнення навантаження, при якому виникає безперервне зростання переміщення палі;
- горизонтальні переміщення палі досягли 40 мм у точці прикладення навантаження.

Крім того горизонтальні переміщення палі в складі фундаменту U_f повинні бути менше або дорівнювати горизонтальним переміщенням одиночної палі для випробувань U_p і бути менше або дорівнювати критично допустимим горизонтальним переміщенням фундаменту U_u без втрати несучої здатності палі по ґрунту і по матеріалу, а кути повороту голови одиночної палі для випробувань ψ_p повинні бути менше або дорівнювати кутам повороту палі в складі фундаменту ψ_f і бути менше критичного значення ψ_u , якщо така умова висувається.

Несуча здатність палі за матеріалом (міцність палі) на горизонтальне навантаження викладена в [10].

У нормативних документах України відсутня методика визначення розрахунком несучої здатності горизонтально навантажених палі за властивостями ґрунтової основи. У Додатку Н [1] така методика наведена для вертикально навантажених палі. Також відсутня методика визначення несучої здатності палі на горизонтальне навантаження в складі фундаменту з урахуванням групового ефекту за результатами випробувань на горизонтальне навантаження одиночних палі.

Визначення за розрахунком несучої здатності палі на горизонтальне навантаження за критерієм обмеження горизонтальних переміщень. Несучу здатність палі на горизонтальні навантаження (H_d , кН) за критерієм обмеження горизонтальних переміщень величиною $u_u = 0,04$ м можна вирахувати за формулою

$$F_d = H_d = \frac{3EI \cdot u_u}{L_M^3}, \quad (3)$$

де EI – жорсткість стовбура палі; L_M – розрахункова довжина, що згинається, визначається за формулою $L_M = L_0 + k_2 / \alpha_\epsilon$,

α_ϵ – коефіцієнт деформації палі, який визначається за формулою Н.7.2 [1] за умови, що $\gamma_C = 1$;

$$L_0 = L_1 + L_2, \quad (5)$$

L_1, L_2 – відповідно відстань між точкою прикладення горизонтального навантаження до поверхні ґрунту та відстань між поверхнею ґрунту та глибиною, на якій ґрунт, що оточує палю, втрачає свою стійкість; k_2 – коефіцієнт, який визначається за таблицею 1 в залежності від приведеної довжини палі \bar{L} у відповідності з [6].

$$\bar{L} = \alpha_\epsilon \cdot L, \quad (6)$$

L – довжина палі.

У першому приближенні можна приймати, що $L_2 = 50u_u$.

Співвідношення (3) з урахуванням (4–7) дозволяє будувати розрахункову криву « u – H », де аргументом є переміщення, а функцією – навантаження.

Для застосування такого підходу необхідно визначити коефіцієнт деформації палі, який залежить від коефіцієнта пропорційності ґрунтової основи $K_{пр}$. Похибка в визначенні $K_{пр}$ суттєво впливає на результати розрахунків.

Визначення $K_{пр}$ за кривою «горизонтальне навантаження – горизонтальне переміщення», отриманою за результатами випробування однієї палі. За значеннями $u_{експ}$ і $H_{експ}$, отриманими за результатами випробування однієї палі на горизонтальне навантаження, можна визначити експериментальне значення $K_{пр}$ опору ґрунту горизонтальному тиску на боковій поверхні палі, кН/м⁴, усередненому в межах частини палі, що згинається, за формулою

$$K_{пр.експ} = \left(\frac{k_2}{\sqrt[3]{\frac{3EI \cdot u_{експ}}{H_{експ}} - L_0}} \right)^5 \times EI | b_p, \quad (8)$$

де b_p, E, I – визначається згідно з [1].

Таблица 1

 Значення коефіцієнтів k_2 в залежності від L_0 та приведеної довжини палі \bar{L}

\bar{L} , м	EI , кНм ²	$L_0 = 0$	1	2	3	5	10	≥ 15
2,6	$\leq 10^4$	2,35	2,15	2,05	2	1,95	1,95	–
2,6	10^5	2,35	2,2	2,1	2,05	2	1,95	1,95
2,6	$\geq 10^6$	2,35	2,25	2,15	2,1	2,05	2	1,95
2,8	$\leq 10^4$	2,3	2,1	2	1,95	1,9	1,85	–
2,8	10^5	2,3	2,15	2,1	2	1,95	1,9	1,85
2,8	$\geq 10^6$	2,3	2,2	2,15	2,1	2	1,95	1,9
3	$\leq 10^4$	2,25	2,05	1,95	1,9	1,85	1,8	–
3	10^5	2,25	2,1	2	1,95	1,9	1,85	1,8
3	$\geq 10^6$	2,25	2,15	2,1	2	1,95	1,85	1,85
$\geq 3,5$	$\leq 10^4$	2,25	2,05	1,95	1,9	1,85	1,8	–
$\geq 3,5$	10^5	2,25	2,1	2	1,95	1,9	1,8	1,8
$\geq 3,5$	$\geq 10^6$	2,25	2,15	2,05	2	1,95	1,85	1,8

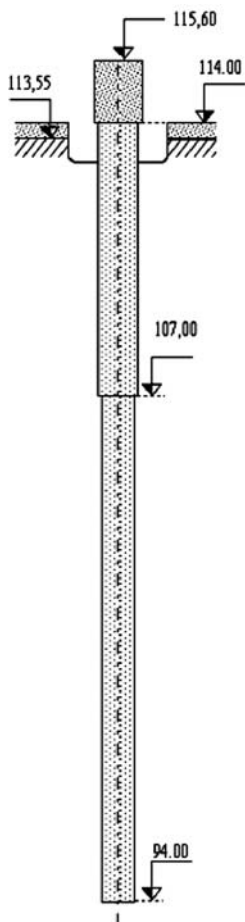


Рис. 1. Конструкція залізобетонної палі для випробування на майданчику НБК для північної зони фундаменту [7]

Приклад. Необхідно визначити експериментальне значення $K_{пр.експ}$ за результатами випробування одиночної буровин'єкційної палі на горизонтальне навантаження. Прийняті експериментальні значення [7] випробувань буровин'єкційної палі № 31, розташованої в північній зоні фундаменту НБК ОП ЧАЕС. Довжина палі $L = 20$ м; стовбур палі з бетону В50, паля армована. Клас арматури А500С. З умовної позначки, рахуючи від поверхні ґрунту від 0 до -7 м, паля в обсадній сталевій трубі. Товщина стінки труби 10 мм, зовнішній діаметр труби 1220 мм. З позначки від -7 м до -20 м паля без обсадної труби залізобетонна діаметром 1000 мм. Загальний вигляд залізобетонної палі, для якої виконувалися випробування, показано на рис. 1.

Результати випробування залізобетонної палі на горизонтальні навантаження приведені на рис. 2.

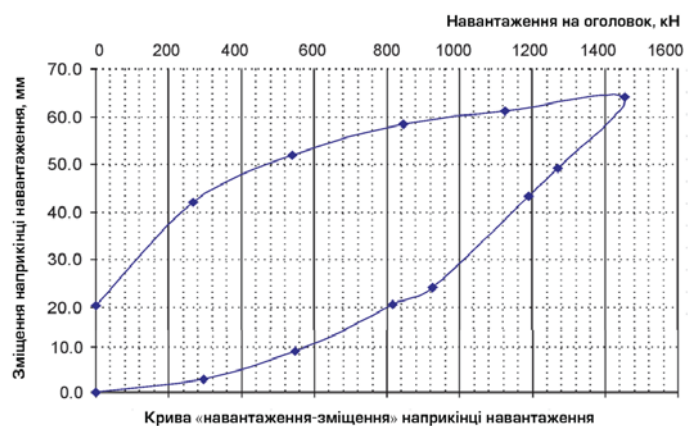


Рис. 2. Експериментальна крива «горизонтальні навантаження – переміщення» одиночної залізобетонної палі

Розрахунок значення $K_{пр.експ}$ виконуємо за формулою (8). У зв'язку з тим, що частина палі, що згинається, має діаметр 1,22 м, приймаємо його при визначенні EI стовбура. Жорсткістю обсадної труби нехтуємо. $E = 39000000$ кПа; $I = 0,1087$ м⁴; $b_p = d + 1$ м, $L_0 = 0$.

Результати розрахунків приведені в таблиці 2.
Таблиця 2

 Визначення $K_{пр.експ}$ для залізобетонної палі № 31

$H_{експ}$, кН	299	547	818	1270
$u_{експ}$, мм	2,88	9,14	18,65	45,25
$K_{пр.експ}$, кН/м ⁴	20437	8158	4850	2330

Отримані результати визначення $K_{пр.експ}$ добре узгоджуються зі значеннями таблиці Н.8.1 [1] для крупних пісків ($0,55 \leq e \leq 0,7$) і для малих значень навантажень, коли ще не відбулась втрата стійкості ґрунту, що оточує палю.

При визначенні $K_{пр.експ}$ врахувати втрату стійкості ґрунту, що оточує палю, можна консервативно, не враховуючи опір ґрунту в верхній частині палі. Тоді виникає і зростає L_0 .

У першому приближенні прийемо, що кожні 10 мм горизонтального переміщення голови палі додають до L_0 півметра. Тоді при переміщенні 45,25 мм $L_0 = 2,26$ м. Після виконання розрахунків за цією умовою таблиця 2 набуде вигляду таблиці 3.

З таблиці 3 випливає, що $K_{пр.експ}$ майже не змінюється для переміщень голови палі від 9 до 45 мм.

Таблиця 3

Визначення $K_{пр.експ}$ для залізобетонної палі № 31 з урахуванням втрати стійкості ґрунту

$H_{експ}$, кН	299	547	818	1270
$u_{експ}$, мм	2,88	9,14	18,65	45,25
$K_{пр.експ}$, кН/м ⁴	20437	9887	10248	10439

Виконаємо аналогічні дослідження для палі у вигляді сталеві труби, випробування якої виконане в монтажній зоні фундаментів НБК [8]. Результати випробування показані на рис. 3.

Товщина стінки сталеві труби палі на позначках від 0 до -7 м становить 30 мм, на позначках - від 7 м до 25 м - 18 мм. Випробування палі для північного фундаменту монтажної зони НБК.

У зв'язку з тим, що частина палі, що згинається, має товщину стінки 30 мм, момент інерції $I = 0,00597739$ м⁴; $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа = $2,06 \cdot 10^8$ кПа; $b_p = d + 1$ м; $L_0 = 0$.

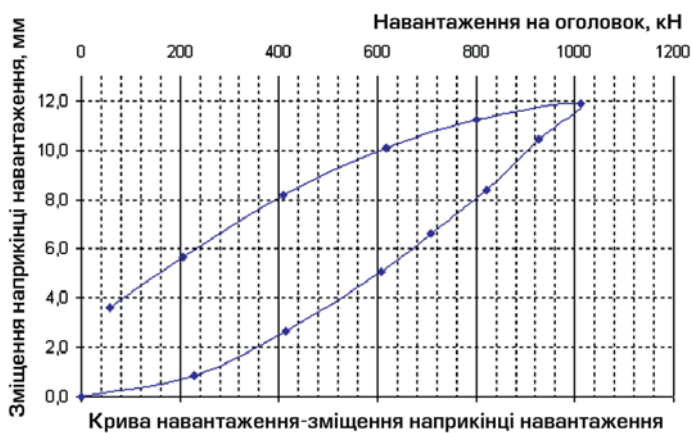


Рис. 3. Експериментальна крива «горизонтальні навантаження – переміщення» одиночної палі № 8 зі сталеві труби завдовжки 25 м, діаметром 1,02 м [8]

Таблиця 4

Визначення $K_{пр.експ}$ для сталеві палі № 8 з урахуванням стійкості основи

$H_{експ}$, кН	413	507	820	1012
$u_{експ}$, мм	2,63	5,05	8,4	11,89
$K_{пр.експ}$, кН/м ⁴	102036	98432	90081	92133

Як свідчать дані таблиці 4, $K_{пр.експ}$ майже не змінюється при зміні навантаження на палю. Порівнюючи таблиці 2 і 3, можна дійти висновку, що для забивних палей $K_{пр.експ}$ значно вище ніж для бурин'єкційних.

Приклади розрахункового визначення несучої здатності палі на горизонтальне навантаження. Перевірка умови за формулою (3) для залізобетонної палі, яка була досліджена на майданчику НБК. Довжина палі $L = 20$ м; стовбур палі з бетону В 50, паля армована. Клас арматури А500С. З умовної позначки, рахуючи від поверхні ґрунту від 0 до -7 м, паля в обсадній сталеві трубі. Товщина стінки труби 10 мм, зовнішній діаметр труби 1220 мм. З позначки від -7 м до -20 м паля без обсадної труби залізобетонна діаметром 1000 мм. Розрахунок виконуємо за формулою (3). У зв'язку з тим, що частина палі, що згинається, має діаметр 1,22 м, приймаємо його при визначенні EI стовбура. Жорсткістю обсадної труби нехтуємо. $E = 39000000$ кПа; $I = 0,1087$ м⁴; $b_p = d + 1 = 2,22$ м; $L_0 = 2,5$ м. $K_{пр.експ} = 20437$ кН/м⁴ визначений за результатами випробувань ґрунту паляю.

Отримаємо $\alpha_\epsilon = 0,4035$, $L_M = 7,4566$; $H_d = 1227$ кН для переміщення голови палі, що дорівнює 40 мм. Отримані результати добре узгоджуються з результатами випробування палі (див. рис. 2).

Приклад побудови кривої « $u-H$ » для випробування палі в зоні експлуатації НБК [7]. Результати розрахунків за формулою (3) з урахуванням (4-7) і порівняння з результатами експериментів [7] приведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Визначення кривої « $u-H$ » за розрахунком і експериментально

U , мм	10	20	30	40	50	60
L_0 , м	1	1,5	2	2,5	3	3,5
L_M , м	5,95	6,45	6,95	7,45	7,95	8,45
$H_{розр}$, кН	600	945	1133	1227	1262	1261
$H_{експ}$, кН	540	800	1000	1160	1280	1440

Похибка не перевищує 14 %. Формула (3) дає стійкий результат моделювання для переміщень голови палі, що не перевищують 50 мм.

Визначення за розрахунком несучої здатності спарених ростверком палей на горизонтальне навантаження за критерієм обмеження горизонтальних переміщень.

Для забезпечення умов: 1) горизонтальні переміщення палі в складі фундаменту U_f повинні бути менше або дорівнювати горизонтальним переміщенням одиночної палі для випробувань U_p і бути менше або дорівнювати критично допустимим горизонтальним переміщенням фундаменту U_u без втрати несучої здатності палі по ґрунту і по матеріалу; 2) кути повороту голови одиночної палі для випробувань ψ_p повинні бути менше або дорівнювати кутам повороту палі в складі фундаменту ψ_f і бути менше критичного значення ψ_u , якщо така умова висувається. У випробуваннях палей для фундаментів НБК ЧАЕС були застосовані спарені палі (див. рис. 4). Так рамна конструкція забезпечує затиснення палей у ростверк, але не обмежує поворот ростверка разом із палями.

Для двох спарених палей із вільною головою переміщення голови в точці прикладення навантаження визначається за формулою

$$u = \frac{H \cdot L_M^3}{n \cdot 3EI} + \frac{M \cdot L_M^2}{n \cdot 2EI} \quad (9)$$

Для двох спарених палей із затиснутою в ростверк головою, коли кут повороту голови палі ψ_t дорівнює нулю,

$$u = \frac{H \cdot L_M^3}{n \cdot 12EI} \quad (10)$$

де $n = 2$ кількість спарених палей; α_ε – коефіцієнт деформації, який для двох спарених палей визначається за формулою

$$\alpha_\varepsilon = \sqrt[5]{\frac{\alpha_i \cdot K_{пр} \cdot b_p}{n \cdot \gamma_C EI}} \quad (11)$$

де α_i – знижувальний коефіцієнт жорсткості, який враховує сумісну роботу групи палей на горизонтальне навантаження [2] (для двох палей на відстані 3 м одна від одної, $\alpha_i = 1,54$); інші параметри такі самі, як і для формул (1–8).

Для двох спарених палей із затиснутою головою, але кут повороту системи «ростверк–палі» $\psi_t \neq 0$, переміщення в точці прикладення навантаження визначається за формулою

$$u = \frac{H \cdot L_M^3}{n \cdot 3EI} + \frac{M \cdot L_M^2}{n \cdot 2EI} \times (1 - k) + \frac{H \cdot L_M^3}{n \cdot 12EI} \times k, \quad (12)$$

$$k = \psi_t \big| \psi_{\max},$$

$$\psi_{\max} = \frac{H \cdot L_M^2}{n \cdot 2EI} + \frac{M \cdot L_M}{n \cdot EI},$$

де ψ_t – визначається за розрахунком МКЕ системи «ростверк–палі» або експериментально. За неможливості визначити ψ_t , в першому приближенні приймаємо $k = 0,5$.

Несучу здатність для спарених палей із вільною головою на горизонтальні навантаження (H_d , кН) за критерієм обмеження горизонтальних переміщень величиною $u_u = 0,04$ м можна вирахувати за формулою

$$F_{d,2} = H_d = u_u \left[\frac{L_M^3}{n \cdot 3EI} + \frac{L_0 \cdot L_M^2}{n \cdot 2EI} \right] \quad (13)$$

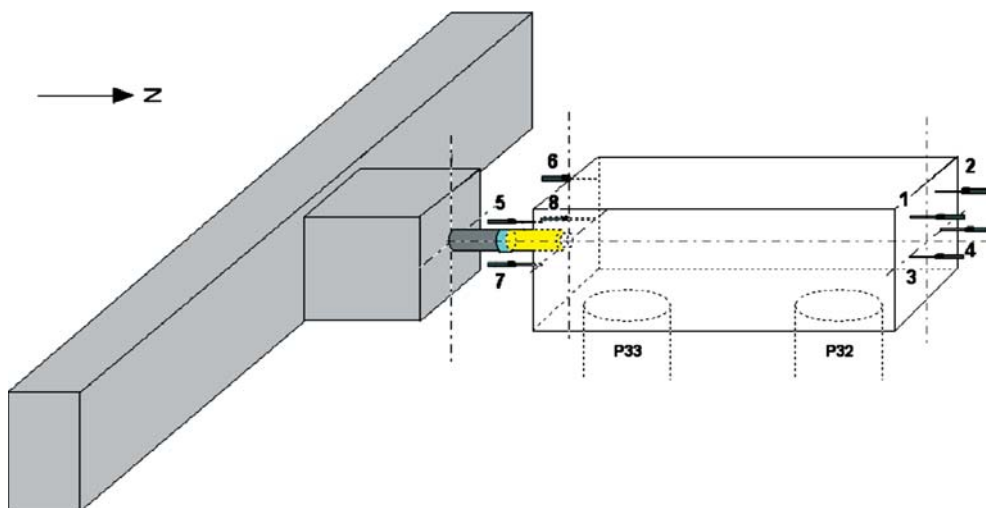


Рис. 4. Схема випробування двох спарених ростверком палей на горизонтальне навантаження: 1–8 – датчики вимірювання переміщень

Несучу здатність для спарених паль із затиснутою в ростверк головою на горизонтальні навантаження (H_d , кН) за критерієм обмеження горизонтальних переміщень величиною $u_u = 0,04$ м за умови, що $\psi_t = 0$, можна вирахувати за формулою

$$F_{d,2} = H_d = \frac{n \cdot 12EI \cdot u_u}{L_M^3}. \quad (14)$$

Несучу здатність для системи спарених паль із затиснутою в ростверк головою на горизонтальні навантаження (H_d , кН) за критерієм обмеження горизонтальних переміщень величиною $u_u = 0,04$ м за умови, що $\psi_t \neq 0$, можна вирахувати за формулою

$$F_{d,2} = H_{d,2} = u_u \left\{ \left[\frac{L_M^3}{n \cdot 3EI} + \frac{L_0 \cdot L_M^2}{n \cdot 2EI} \right] \cdot (1-k) + \left[\frac{L_M^3}{n \cdot 12EI} \right] \cdot k \right\}. \quad (15)$$

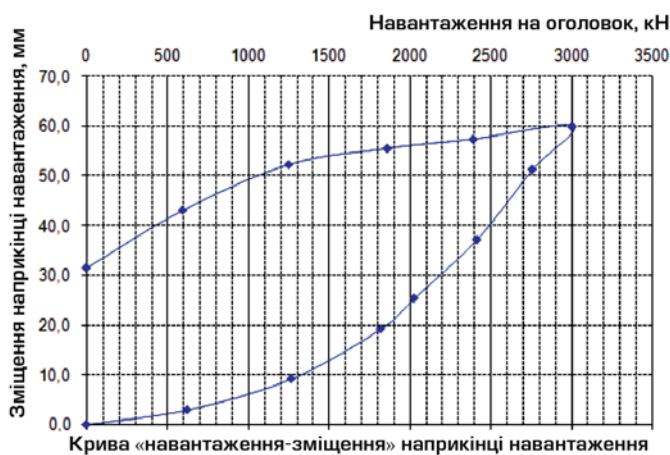


Рис. 5. Графік « $H-u$ », отриманий при випробуванні двох спарених паль

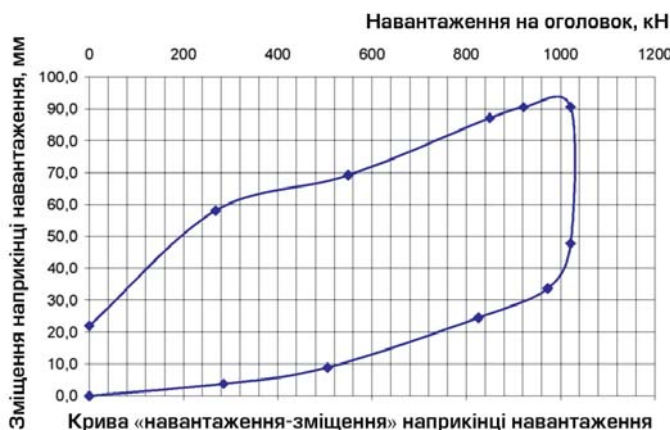


Рис. 6. Результати випробування палі № 37 на горизонтальне навантаження

Для палі першого ряду з двох спарених паль несуча здатність за ґрунтом визначається за формулою $F_{d,1} = F_{d,2} / \alpha_i$.

Приклад. Визначимо несучу здатність за розрахунком двох спарених паль на горизонтальне навантаження. Графік « $H-u$ », отриманий за результатами випробувань спарених паль [9], приведений на рис. 5.

При $I = 0,05$ м⁴, $E = 37600$ МПа, $K_{пр.експ} = 20437$ кН/м⁴ при $\alpha_\epsilon = 0,4413$, $L_0 = 2,5$ м для першої палі і $L_0 = 0,5$ м для другої палі, середнє значення $L_M = 1,5$, $k_2 = 4,53$ м. Середнє значення $L_M = 6,03$ м. Приймаємо $k = 0,5$. За розрахунком за формулою (15) для двох спарених паль $H_d = 2530$ кН.

За випробуваннями (див. рис. 5) для $u_u = 0,04$ м для двох спарених паль $H_{d,2} = 2500$ кН. Результати добре узгоджуються.

Для палі першого ряду $F_{d,1} = 2530/1,54 = 1642$ кН.

Розрахунок несучої здатності палі на горизонтальне навантаження, при якому виникає безперервне зростання переміщення палі. Для коротких паль завдовжки до 8 м при горизонтальному навантаженні можлива втрата стійкості палі по ґрунту, а саме: відбувається безперервне зростання горизонтального переміщення палі при подальшому навантаженні.

Горизонтальна сила H , кН, яка відповідає межі пружної роботи системи «палі – ґрунт», тобто виникає безперервне зростання переміщення палі при подальшому навантаженні (за умови $\bar{z}_i > 0,5\bar{L}$), визначається за формулою

$$F_d = H_{el} = \frac{\bar{H}_{el} \cdot a \cdot b_p}{\alpha_\epsilon^2}, \quad (16)$$

де H_{el} – граничне значення горизонтальної сили, при якій безперервно зростає переміщення палі або несуча здатність палі на горизонтальне навантаження; \bar{H}_{el} – визначається за табл. 6 у залежності від \bar{L} при $\bar{z}_i > 0,5\bar{L}$ (за такої умови безперервно зростає переміщення палі при подальшому навантаженні); a – міцнісний коефіцієнт пропорційності, кН/м³, який визначається у відповідності з таблицею Н.8.1 [1]; b_p – умовна ширина палі, визначається у відповідності з п. Н.7.3 [1]; α_ϵ – коефіцієнт деформації палі, який визначається за формулою Н.7.2 [1] за умови, що $\gamma_C = 1$.

Таблица 6

 Значення \bar{H}_{el} в залежності від умовної довжини палі

Умовна довжина палі L , м	\bar{H}_{el} , вільна голова палі, кН	\bar{H}_{el} , затиснута голова палі, кН
2,6	0,800	1,500
2,8	0,825	1,593
3,0	0,939	1,687
3,2	1,12	1,820
3,4	1,22	1,980
3,6	1,32	2,100
3,8	1,42	2,300
4,0	1,52	2,500

Приклади розрахункового визначення несучої здатності палі на горизонтальне навантаження. Необхідно визначити несучу здатність палі на горизонтальне навантаження за умови втрати стійкості основи у відповідності з умовами випробування натурної палі № 37 на майданчику НБК [11].

Характеристики палі і основи: паля залізобетонна, бурюін'єкційна, діаметром 1 м, завдовжки 20 м.

Дослідженнями цілісності палі [11] встановлено, що на глибині 10 м паля має дефекти, які можуть призвести до її руйнування при згині внаслідок горизонтального навантаження голови палі. В цьому випадку доцільно розглядати палю завдовжки 10 м.

Грунт – пісок середньої крупності ($0,55 \leq e \leq 0,77$). Механічні характеристики наступні:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 0,05 \text{ м}^4; E = 37600 \text{ МПа}; b_p = 2,00 \text{ м};$$

$\gamma_C = 1$; $K_{пр} = 15000 \text{ кН/м}^4$; $a = 65,5 \text{ кН/м}^3$; $\alpha_\varepsilon = 0,436$; $L = 10 \times 0,436 = 4,36 \text{ м}$. Для палі з затиснутою головою $\bar{H}_{el} = 1,901$, тоді $H_{el} = 1816 \text{ кН}$. Для палі з вільною головою $\bar{H}_{el} = 1,174$, тоді $H_{el} = 1107 \text{ кН}$.

Результати випробування палі № 37 на горизонтальне навантаження приведені на рис. 6.

За результатами розрахунків $H_{el} = 1107 \text{ кН}$, за результатами випробування $H_{el} = 1040 \text{ кН}$. Похибка не перевищує 7 %.

Висновки.

1. Запропонована методика визначення характеристики ґрунту $K_{пр.експ}$ за результатами випробування натурних одиночних палей, яка дає стійкі результати для залізобетонних і сталевих палей із різними значеннями кривої «горизонтальні навантаження – горизонтальні переміщення».

2. Для одиночної та спарених палей запропоновані методики визначення розрахунком несучої здатності палі на горизонтальне навантаження за критерієм обмеження горизонтальних переміщень, а також несучої здатності палі на горизонтальне навантаження, при якому виникає безперервне зростання переміщення палі, які добре узгоджуються з результатами випробування палей і можуть бути використані в подальшому при актуалізації розділу 8 ДБН В.2.1-10.

- [1] Зміна 1 ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011.
- [2] СП 24.13330.2012 Свайные фундаменты. Свод правил.
- [3] ДСТУ Б В.2.1-1 (ГОСТ 5686-94) Грунты. Методы полевых испытаний свай.
- [4] ДСТУ Б В.2.1-27:2010 Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань.
- [5] СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов. Свод правил по проектированию в строительстве.
- [6] Руководство по проектированию свайных фундаментов. – М.: Стройиздат, 1980. – 146 с.

- [7] SIP-N-RB-22-DO2-RTE 004-00 Отчет о результатах испытания бурюинъекционных свай Р31. Северная зона.
- [8] SIP-N-RB-22-CO2-RTE 002-00. Фактический отчет по результатам испытаний забивных свай. Северный участок ПЗ.
- [9] SIP-N-RB-22-DO2-RTE 007-00 Отчет о результатах испытания спаренных бурюинъекционных свай Р32 и Р33. Северная зона.
- [10] Методические рекомендации по проектированию и расчету подпорных стен из буронабивных свай. – К.: 1984, ВНИИГС, 54 с.
- [11] SIP-N-RB-22-DO2-RTE 006-00 Отчет о результатах испытания бурюинъекционных свай Р36-Р37. Северная зона.

Надійшла 03.10.2016 р.