

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПОЗАЦЕНТРОВО
НАВАНТАЖЕНИХ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ПРИ ДІЇ ЗНАЧНИХ
ЗГИНАЮЧИХ МОМЕНТІВ**

**ОСОБЕНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНЕЦЕНТРЕННО
НАГРУЖЕННЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ
ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ**

**SOME FEATURES OF PILE FOUNDATIONS DESIGNING IN THE CASE
OF LARGE BENDING MOMENT**

Супрунюк В.В. к.т.н., доц., Фурсович М.О. к.т.н., доц., Жеребятъев О.В. к.т.н., доц. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Супрунюк В.В. к.т.н., доц., Фурсович М.О. к.т.н., доц., Жеребятъев О.В. к.т.н., доц. (Национальный университет водного хозяйства и природоиспользования, г. Ровно)

Suprunyuk V.V. PhD, senior teacher, Fursovych M.A. PhD, senior teacher, Zherebiatiev O.V. PhD, senior teacher (National University of Water and Environmental Engineering)

Розроблена методика розрахунку і конструювання пальового поля та ростверків залежно від дії розрахункових зусиль на фундамент. Проведені числові дослідження та встановлені оптимальні параметри розмірів ростверків та кількості паль в кущі.

Разработана методика расчета и конструирования свайного поля и ростверков в зависимости от действия расчетных усилий на фундамент. Проведены численные исследования и установлены оптимальные параметры размеров ростверков и количества свай в кусте.

While pile foundation designing (grillages and fields) maximum using of load, equal strength material and soil providing, optimal size definition of piles and grillages, unification and volumes of soils have to be considered.

The bearing walls construction have one raw piles allocation as usual. Frame structure piles foundations must minimized for dimensions as well as for number of piles. There are some difficulties in the case of high moment of force because some of these terms can't be implemented.

The existing methods (directory of designing) recommend use nomograms depending upon bending moment and numbers of piles while acting only vertical loads. These methods are inconvenient enough because of missing any alternative case and economic account.

The convenient method of pile foundation designing (grillages and fields) depending upon load values on foundation proposed by authors in this article.

The results of numerical investigations, which determined optimal grillages dimensions and numbers of piles in “bush” of piles, shown that this method gives the optimal options of pile foundation under single column with large bending moment and minimum material spending and also providing its bearing capacity.

Ключові слова:

Фундамент, паля, несуча здатність, розрахунок.

Фундамент, свая, несущая способность, расчет.

The foundation, pile, bearing capacity calculation.

Основна задача проектування пального поля та ростверків зводиться до максимального використання допустимого на палю розрахункового навантаження, забезпечення рівномірності паль по ґрунту і матеріалу, визначення оптимальних типорозмірів паль і ростверків, їх уніфікація, найменші витрати витрати на монтаж і влаштування, а також мінімальний об'єм земляних робіт при їх влаштуванні.

Під спорудами з несучими стінами палі розміщують, як правило, в один ряд і це не викликає особливих ускладнень для проектувальника. Для каркасних споруд число паль в куці повинно бути мінімальним з мінімальними розмірами ростверка. Для центрально-навантажених фундаментів, або ж для позацентрально-навантажених фундаментів з малим значенням ексцентриситету методика є простою та зрозумілою. У тому випадку коли окремо стоячий стовпчатий фундамент сприймає значні, за величиною, згинаючі моменти, виникають ускладнення, які викликані тим, що не завжди можливо забезпечити виконання всіх умов.

Такі варіанти можливі для виробничих будівель з важким крановим навантаженням з сталевим або залізобетонним каркасом, висотних споруд, які сприймають значні вітрові навантаження, високих підпірних стін на які діє боковий тиск тощо.

Так при розрахунках і конструюванні палових позацентрово навантажених фундаментів в одній площині під окремо стоячі колони згідно з нормами проектування [1] визначається несуча здатність, як правило, всячої палі F_d і допустиме на неї навантаження P . Далі залежно від величини зовнішнього навантаження визначається необхідна кількість паль і конструюється паловий куц. Після чого проводить перевірку виконання наступних умов

$$\left. \begin{aligned} N &= G_{nI} + \frac{N_I + G_{pI}}{n} \leq P \\ N_{\max} &= G_{nI} + \frac{N_I + G_{pI}}{n} + \frac{(M_I + Q_I \cdot h) \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2} \leq 1,2 \cdot P \\ N_{\min} &= G_{nI} + \frac{N_I + G_{pI}}{n} - \frac{(M_I + Q_I \cdot h) \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2} \geq 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де N_{\max} , N_{\min} – максимальне і мінімальне навантаження на крайні палі;
 G_{pI} – вага ростверке та ґрунту на його обрізах; n - кількість паль у кущі;
 G_{nI} – власна вага палі; x_{\max} – відстань від головної осі до осі крайньої палі; x_i – відстань від головної осі до осі кожної палі; M_I, Q_I – момент і горизонтальна складова зовнішніх сил на рівні обрізу фундаменту відносно відповідної осі; h – відстань від підшови ростверку до його обрізу.

P – допустиме навантаження на палю.

Перевантаження крайніх паль в кущі на 20% ($1,2P$) від навантаження, допустимого на них, можливе при розрахунках фундаментів із врахуванням вітрових та кранових навантажень (при цьому величина кранових навантажень повинна становити більше 30% сумарних навантажень на фундамент), тобто $N_{\max} \leq 1,2P$. Якщо $N_{\min} < 0$, то додатково проводять розрахунки паль на дію висмикуючих навантажень.

В довіднику проектувальника [2] наведені параметри уніфікованих кущів із забивних паль квадратного перерізу для одноповерхових і багатоповерхових будівель, а також методика підбору кількості паль розташованих в кущі з допомогою номограми залежно від ексцентриситету дії згинаючого моменту та необхідної кількості паль при дії лише вертикального навантаження.

Існуюча методика передбачає визначення необхідної кількості паль та відстаней між центрами їх осей. Вона досить громіздка, незручна і має ряд недоліків, а саме, не вказує на будь-який альтернативний варіант і не забезпечує одну з основних вимог, що запроєктований варіант повинен бути найбільш економічним. Так, наприклад, в деяких випадках, якщо забезпечується перша і третя умова виразу (1) не забезпечена друга умова. В цьому випадку слід або збільшити відстані між осями крайніх паль, що призведе до збільшення розмірів ростверка і як наслідок вартості будівництва, або збільшення кількості паль в кущі, що призведе до невиконання третьої умови, оскільки зміниться розташування паль, зросте

складова зусилля від дії згинаючого моменту, та зменшиться складова від дії вертикального навантаження, тобто не зрозуміло в якому напрямку рухатися: розвивати в плані куц паль; або визначати оптимальну кількість і розмір паль.

Отже існує необхідність розробити методику з якої чітко було б видно в якому напрямку рухатись для того щоб запроєктувати оптимальний варіант.

Ключовим в розрахунках фундаментів з великим значенням ексцентриситету є забезпечення третьої умови (1), це актуально коли куц паль сприймає значні за величиною згинаючі моменти. Найбільш раціональним буде варіант, коли складові вертикальних зусиль у найбільш навантаженій палі від дії поздовжньої сили N_I та згинаючого моменту M_I будуть рівними тобто

$$N_{\min} = G_{nI} + \frac{N_I + G_{pI}}{n} - \frac{(M_I + Q_I \cdot h) \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2} \geq 0. \quad (2)$$

Виконавши певні математичні операції отримаємо наступний вираз

$$\frac{n \cdot G_{nI} + N_I + G_{pI}}{M_I + Q_I \cdot h} = \frac{n \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2}. \quad (3)$$

Ліва частина виразу (3) є оберненим ексцентриситетом дії згинаючого моменту $(M_I + Q_I \cdot h)$ відносно низу ростверку, а права частина виразу залежить від кількості паль та розташування їх у куці і є величиною постійною для незмінної кількості паль і однакової відстані між осями сусідніх паль X .

Були проведені числові дослідження по визначенню співвідношення $1/e = (n \cdot x_{\max}) / \sum x_i^2$ для уніфікованих куців паль, які наведені в довіднику проектувальника [2], результати яких наведені в табл.1 та приведені у графічному вигляді на рис.1.

Відповідно до вище викладеного розрахунок слід проводити попередньо прийнявши кількість паль із першої частини умови виразу (1), врахувавши, що на пальовий фундамент діє лише 60% вертикального навантаження N_I , забезпечивши виконання другої частини виразу з величиною допустимого навантаження $1,2 \cdot P$, та третю частину, що складові зусилля в найбільш розвантаженій палі від згинаючого моменту та поздовжньої сил однакові, тобто

$$n = \frac{N_I + G_{pI}}{0,6 \cdot P - G_{nI}} \approx \frac{N_I}{0,6 \cdot P}. \quad (4)$$

Таблиця 1

Обернений ексцентриситет дії згинаючого моменту l/e

Кількість паль в куці n	Відстань між осями сусідніх паль x , м									
	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
2	6,667	3,333	2,222	1,667	1,333	1,111	0,952	0,837	0,741	0,667
3	11,560	5,780	3,853	2,890	2,312	1,927	1,651	1,445	1,284	1,156
4	6,667	3,333	2,222	1,667	1,333	1,111	0,952	0,837	0,741	0,667
5	4,811	2,406	1,604	1,203	0,962	0,802	0,687	0,601	0,535	0,481
6	5,000	2,500	1,667	1,250	1,000	0,833	0,714	0,625	0,556	0,500
7	4,490	2,245	1,497	1,123	0,898	0,748	0,641	0,561	0,499	0,464
8	3,421	1,711	1,140	0,855	0,684	0,570	0,489	0,428	0,380	0,342
9	5,000	2,500	1,667	1,250	1,000	0,833	0,714	0,625	0,556	0,500
10	3,733	1,867	1,244	0,933	0,747	0,622	0,533	0,467	0,415	0,373
11	3,023	1,512	1,008	0,756	0,605	0,504	0,432	0,378	0,336	0,302
12	4,015	2,011	1,352	1,014	0,831	0,673	0,569	0,505	0,451	0,401

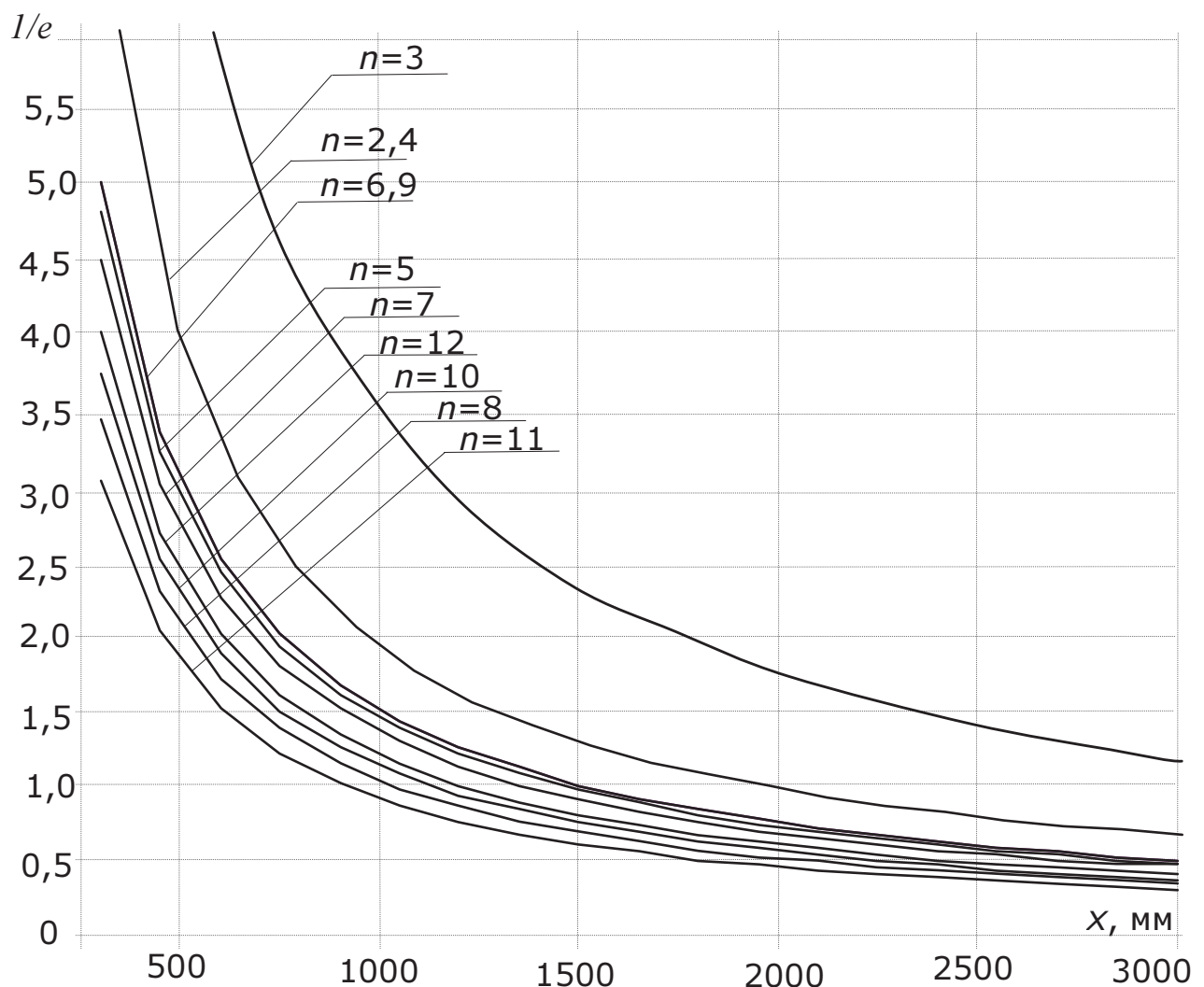


Рис.1. До визначення оптимальних параметрів конструювання куці паль

Наступним етапом розрахунку визначається обернений ексцентриситет дії згинаючого моменту за виразом

$$\frac{1}{e} = \frac{n \cdot G_{nI} + N_I + G_{pI}}{M_I + Q_I \cdot h} \approx \frac{N_I}{M_I + Q_I \cdot h} \quad (5)$$

У виразах (4) і (5) в розрахунках на перших етапах власною вагою палі G_{nI} та вагою ростверку G_{pI} для підбору можна знехтувати, оскільки їх точні значення невідомі.

Далі за табл.1 або з рис.1 визначаємо необхідну відстань між осями сусідніх паль залежно від їх кількості n та оберненого ексцентриситету $\frac{1}{e}$, або за значенням $\frac{1}{e}$ приймаємо іншу кількість паль з відповідним кроком X , але не менше ніж за виразом (4).

Як добре видно з графічної залежності для оберненого ексцентриситету дії згинаючого моменту $\frac{1}{e}$ збільшення кількості паль при однаковій відстані між осями не завжди підвищує надійність фундаменту, зокрема це стосується фундаментів з трьома та чотирма палями.

Для прикладу розглянемо розрахунок пального фундаменту (рис.2), який сприймає наступні навантаження: вертикальне навантаження – $N_I = 1800 \text{ кН}$; згинаючий момент – $M_I = 1200 \text{ кН} \cdot \text{м}$; поперечна сила – $Q_I = 60 \text{ кН}$; $h = 1,5 \text{ м}$; марка палі ПН 110.30; допустиме навантаження на палю – $P = 800 \text{ кН}$.

Визначаємо необхідну кількість паль

$$n = \frac{N_I}{0,6 \cdot P} = \frac{1800}{0,6 \cdot 800} = 3,75, \text{ приймаємо } 4 \text{ палі};$$

визначаємо обернений ексцентриситет

$$1/e = \frac{N_I}{M_I + Q_I \cdot h} = \frac{1800}{1000 + 60 \cdot 1,5} = 1,65.$$

За табл. 1. або з рис. 1. приймаємо відстань між осями сусідніх паль $a=1,2 \text{ м}$. як альтернативний варіант можна також прийняти 5 або 6 паль з кроком $0,9 \text{ м}$ тощо.

Перевіряється виконання умов (1), для чого спочатку знаходимо вагу палі та ростверка

$$G_{nI} = 0,3 \cdot 0,3 \cdot 10,7 \cdot 25 \cdot 1,1 = 26,5 \text{ кН};$$

$$G_{pI} = 1,8 \cdot 1,8 \cdot 1,65 \cdot 20 \cdot 1,12 = 119,75 \text{ кН/м},$$

$$N = G_{nI} + \frac{N_I + G_{pI}}{n} = 26,5 + \frac{1800 + 119,75}{4} = 505,44 \text{ кН} < P = 800 \text{ кН};$$

$$N_{\max} = G_{nI} + \frac{N_I + G_{pI}}{n} + \frac{(M_I + Q_I \cdot h) \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2} = 505,44 +$$

$$+ \frac{(1000 + 60 \cdot 1,5) \cdot 0,6}{4 \cdot 0,6^2} = 959,57 < 1,2 \cdot P = 1,2 \cdot 800 = 960 \text{ кН};$$

$$N_{\min} = G_{nI} + \frac{N_I + G_{pI}}{n} - \frac{(M_I + Q_I \cdot h) \cdot x_{\max}}{\sum x_i^2} = 505,44 + 454,2 = 51,24 \text{ кН} > 0.$$

Умови виконуються, а отже куц пального фундаменту запроєктований вірно.

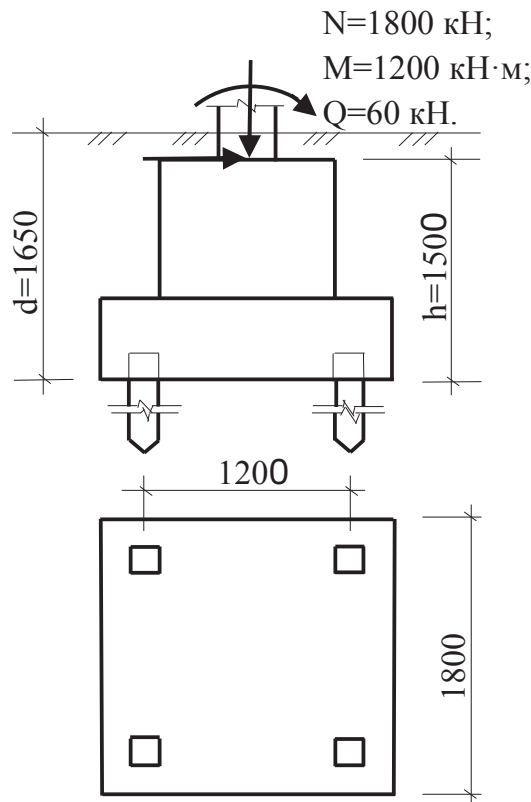


Рис.2. До розрахунку пального фундаменту

Застосування запропонованої методики дозволяє запроєктувати паливий фундамент з оптимальними параметрами під окремо стоячу колону при дії значного згинаючого моменту з мінімальними витратами матеріалу з одночасним забезпеченням його несучої здатності.

1. ДБН В.2.1-10-2009, зміна 1. „Основи та фундаменти споруд”. К. 2009-49 с.

2. Основания, фундаменты и подземные сооружения/М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е. А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с., ил. – (Справочник проектировщика).