

УДК 624.131

О. В. Титко, к. т. н.;

Т. Ю. Вовк

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ РОБОТИ ФУНДАМЕНТІВ З ГРУПИ ПАЛЬ

Запропоновано методику, що дозволяє проводити математичне планування експерименту при розв'язанні задач оптимізації складних багатокритеріальних рішень влаштування фундаментів з групи взаємозалежних палей. Отримана безрозмірна величина, яка зводиться до розрахункової величини і використовується для співставлення результатів експериментальних і теоретичних досліджень.

Вступ

Застосування палей в якості фундаментів під промислові та цивільні будівлі дозволяє майже виключити земляні роботи, значно механізувати процес влаштування фундаменту, застосовувати для фундаментів конструкції заводського виготовлення, тобто підвищити економічну ефективність фундаментів у цілому.

Для виявлення якісної картини по дослідженню несучої здатності палевих фундаментів при дії вертикального навантаження, встановлення оцінки впливу відстані між палями, жорсткості рост-верку, розташування палей в плані, комбінацій з палей різної довжини в складі групи, в цій роботі виконано планування експериментальних досліджень на моделях фундаментів з групи палей у лабораторних умовах.

Фундаменти з групи палей — це конструктивні рішення, проектуючи які розв'язуються складні багатокритеріальні задачі. Тобто, коли розв'язок повинен відповідати декільком вимогам одночасно, між яких виникають протиріччя і навіть взаємовиключення. В процесі розв'язання такої складної задачі у проектувальника виникає багато варіантів, з яких необхідно вибрати єдиний, але найкращий (оптимальний). В зв'язку з цим, розробка методики математичного планування експерименту влаштування фундаментів з групи палей є досить актуальною задачею [1].

Постановка задачі

Математичне планування експерименту — це процедура вибору кількості і умов проведення дослідів, достатніх для розв'язання цієї задачі з потрібною точністю, а також вибору методів математичної обробки результатів.

Схема планування експерименту при розв'язанні задач оптимізації (екстремальних задач) зводиться до відомих процедур [2].

Для визначення цільової функції виконується планування експерименту і подальша оптимізація параметрів — експериментальне визначення сукупності факторів варіювання. Цільова функція складається з трьох етапів:

- вихід в район оптимуму з найменшими затратами матеріалів і часу;
- знаходження математичного опису поверхні поблизу оптимуму, тобто такої сполуки характерних параметрів, при якій можна досягти гарантованого «майже стаціонарного стану» цільової функції;
- перевірка адекватності отриманого (з рівняння регресії) рівняння зв'язку в натуральному вигляді теоретичній залежності.

Основна частина

За незалежні змінні взято основні геометричні, конструктивні і силові параметри, які характеризують фундамент з групи палей в робочому стані (рис. 1) [3]:

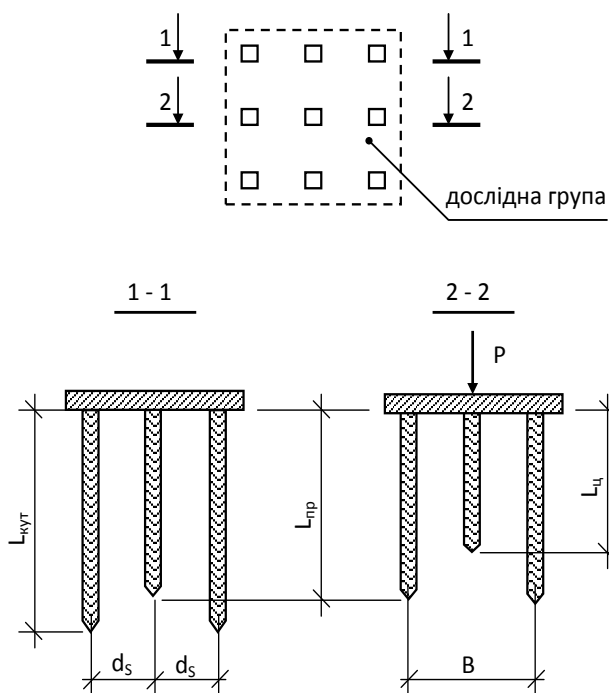


Рис. 1. Схема основних змінних параметрів пальної групи

P — вертикальна складова зовнішнього навантаження (X_1); d_s — відстань між палями в групі (X_2); $L_{кут}$ — довжина кутових паль у складі групи (X_3); $L_{пр}$ — довжина проміжних паль у складі групи (X_4); $L_{ц}$ — довжина центральної палі у складі групи (X_5).

Для побудови математичної моделі з використанням безрозмірних критеріїв подібності моделі і натури застосуємо метод нульових розмірностей. Як основні незалежні одиниці використовуємо: R — сумарний опір ґрунту при зануренні палі; L_{Σ} — сумарна довжина паль у складі групи; B — геометричний розмір сторони фундаменту;

На основі цього отримуємо безрозмірні комплекси

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{P}{R}; \quad \Pi_2 = \frac{d_s}{B}; \quad \Pi_3 = \frac{L_{кут}}{L_{\Sigma}}; \\ \Pi_4 &= \frac{L_{пр}}{L_{\Sigma}}; \quad \Pi_5 = \frac{L_{ц}}{L_{\Sigma}}. \end{aligned} \quad (1)$$

За вихідну функцію береться величина вертикального переміщення — осадка фундаменту \hat{Y} — (\hat{Y}). Математична модель має вигляд

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + \\ &+ b_{15} X_1 X_5 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{25} X_2 X_5 + b_{34} X_3 X_4 + b_{35} X_3 X_5 + b_{45} X_4 X_5. \end{aligned} \quad (2)$$

Для того, щоб отримати рівняння (2) всі фактори одночасно варіюються на двох рівнях відносно основного (нульового) рівня.

Вибір основних рівнів змінних виконується на підставі аналізу геометричних і конструктивних параметрів палових груп. Добирається таке співвідношення змінних, яке приводить до можливої меншої осадки фундаменту під дією силового навантаження.

Межі варіювання факторів встановлюються з урахуванням апріорної інформації, експериментальних можливостей, технічних обмежень і на основі результатів попередніх пошукових експериментів.

Реалізацію плану і отримання моделі виконується за наведеним нижче алгоритмом:

— нульовий рівень змінних вибирається згідно з попереднім практичним аналізом раціональних параметрів конструктивного і геометричного виконання моделей фундаментів з групи паль;

— проводиться кодування незалежних змінних, визначаються рівні і інтервали (кроки) варіювання змінних (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні і інтервали варіювання змінних параметрів

Фактор	Основний рівень	Верхній рівень (+1)	Нижній рівень (-1)	Інтервал (крок) варіювання (ΔX_i)
$X_1 \sim P$, кН	20	30	10	10
$X_2 \sim d_s$, мм	90	120	60	30
$X_3 \sim L_{кут}$, мм	600	700	500	100
$X_4 \sim L_{пр}$, мм	600	700	500	100
$X_5 \sim L_{ц}$, мм	600	700	500	100

На першому етапі дослідження визначається напрямок руху до області, в якій пальова група буде мати найменшу осадку. Для цього потрібно було дослідити поверхню відклику на невеликій ділянці, обмежуючись лінійним наближенням.

Проведено повнофакторний експеримент (ПФЕ) з визначення коефіцієнтів лінійних членів і парних добутоків для заданої кількості дослідів ($2^5 = 32$).

Експеримент виконувався у всьому наміченому діапазоні випробувань [3]. За візуальний критерій завершення випробування приймалась суттєва осадка (втрата стійкості) моделі фундаменту. В табл. 2 подана матриця планування ПФЕ — 2^5 .

Таблиця 2

Матриця планування повного факторного експерименту

Точки плану	Фактори				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	+	+	+	+	+
2	—	+	+	+	+
3	+	—	+	+	+
4	—	—	+	+	+
5	+	+	—	+	+
6	—	+	—	+	+
7	+	—	—	+	+
8	—	—	—	+	+
9	+	+	+	—	+
10	—	+	+	—	+
11	+	—	+	—	+
12	—	—	+	—	+
13	+	+	—	—	+
14	—	+	—	—	+
15	+	—	—	—	+
16	—	—	—	—	+
17	+	+	+	+	—
18	—	+	+	+	—
19	+	—	+	+	—
20	—	—	+	+	—
21	+	+	—	+	—
22	—	+	—	+	—
23	+	—	—	+	—
24	—	—	—	+	—
25	+	+	+	—	—
26	—	+	+	—	—
27	+	—	+	—	—
28	—	—	+	—	—
29	+	+	—	—	—
30	—	+	—	—	—
31	+	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—

За результатами експерименту обчислюємо коефіцієнти регресії b_0, b_i, b_{ij} з формули (3).

$$\left. \begin{aligned}
 b_0 &= \frac{\sum_{m=1}^n X_{0m} Y_m}{N}; \\
 b_i &= \frac{\sum_{m=1}^n X_{im} Y_m}{N}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, k; \\
 b_{ij} &= \frac{\sum_{m=1}^n X_{im} X_{jm} Y_m}{N},
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де m — номер досліджу; N — число дослідів; i — номер фактора.

На основі розрахунків отримали рівняння регресії, що характеризує функцію відклику у вигляді поліному

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & 3,671 - 2,934X_1 - 0,116X_2 - 0,247X_3 - 0,291X_4 - 0,309X_5 - \\ & - 0,091X_1X_2 - 0,209X_1X_3 - 0,253X_1X_4 - 0,209X_1X_5 + 0,241X_2X_3 - \\ & - 0,103X_2X_4 + 0,003X_2X_5 + 0,253X_3X_4 - 0,016X_3X_5 - 0,034X_4X_5. \end{aligned} \quad (4)$$

Статистичний аналіз рівняння (4) наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Статистичний аналіз

Параметри статистичного аналізу	Позначення	Значення
Критерій Кохрена: розрахунковий табличний	G_p	0,5132
	G_m	0,798
Дисперсія помилок досліджу	D_Y	64,524
Дисперсія помилки розподілення b_i коефіцієнтів регресії	D_{bi}	4,856
Дисперсія адекватності математичної моделі	D_A	61,442
Критерій Фішера: розрахунковий табличний	$K_{Фp}$	1,7783
	$K_{Фm}$	3,84
Критерій Ст'юдента	$t_m^{0,95}$	2,036

Величиною, що характеризує вклад коефіцієнтів регресії в рівняння (4), є коефіцієнт кореляції

$$W = \sqrt{1 - \frac{\sum_{v=1}^n (\tilde{Y}_v - \hat{Y}_v)^2}{\sum_{v=1}^n (\tilde{Y}_v - \bar{Y})^2}} = 0,969, \quad (5)$$

де \tilde{Y}_v — середнє значення переміщення — осадка фундаменту в досліджах; \hat{Y}_v — значення осадки, передбачене рівнянням регресії (4); $\bar{Y} = \tilde{Y}_v / N$ — середнє значення вертикального переміщення фундаменту в експерименті.

Оскільки W близьке до одиниці, то рівняння регресії (4) практично повно описує результати експериментів і підтверджує результати значності коефіцієнтів регресії.

За величиною та знаками коефіцієнтів регресії, що характеризують лінійні ефекти, можна зробити висновок, що суттєвий вплив на значення осадки мають величини довжини паль в складі групи, а також величина відстані між палями.

Отримане рівняння регресії перетворено до натурального вигляду, з урахуванням величин згідно зі співвідношенням (3) і безрозмірних комплексів (1).

Після нехтування незначними за впливом на осадку коефіцієнтів рівняння (4) набуло вигляду

$$\begin{aligned} \tilde{s} = & 3,671 - \frac{P}{R} \left(3,154 + 0,091 \frac{d_s}{B} \right) - \frac{d_s}{B} \left(0,116 + 0,103 \frac{L_{\text{пр}}}{L_{\Sigma}} \right) - \\ & - \frac{L_{\text{кут}}}{L_{\Sigma}} \left(0,247 - 0,253 \frac{L_{\text{пр}}}{L_{\Sigma}} \right) - \frac{L_{\text{пр}}}{L_{\Sigma}} \left(0,291 - 0,034 \frac{L_{\text{п}}}{L_{\Sigma}} \right) - 0,309 \frac{L_{\text{п}}}{L_{\Sigma}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Висновки

Визначені коефіцієнти регресії показали, що суттєвий вплив на значення осадки мають величини довжин паль в складі групи, а також відстані між палями.

Отримана безрозмірна величина $\tilde{\delta}$ може бути зведена до реальної величини і використана для співставлення результатів експериментальних і теоретичних досліджень [4—6].

Метою подальших досліджень є оптимізація ключових параметрів та факторів роботи фундаментів з групи паль.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алейников С. М. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния системы «призматическая свая—основание» / С. М. Алейников, М. Д. Гончаров. — Одесса, 1997. — 320 с.
2. Сиденко В. Н. Основы научных исследований / В. Н. Сиденко, И. Г. Грушко — Харьков : Вища школа, 1979. — 200 с.
3. Титко О. В. Оцінка ефективності фундаментів з групи взаємозалежних паль : монографія / О. В. Титко. — Вінниця : ВНТУ, 2007. — 114 с.
4. Моргун А. І. Дослідження опору вертикальним навантаженням куців з паль різної довжини / А. І. Моргун, О. В. Титко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2000. — № 5. — С. 9—11.
5. Титко О. В. Математичне моделювання процесу ущільнення ґрунту в навколо-пальовому просторі / О. В. Титко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2002. — № 2. — С. 21—23.
6. Титко О. В. Визначення деформацій основи фундаментів з групи паль методом наближеного моделювання / О. В. Титко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2002. — № 4. — С. 14—16.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 6.05.09
Рекомендована до друку 29.09.09

Титко Олег Васильович — старший викладач, **Вовк Тетяна Юрїївна** — асистент.

Кафедра теплогазопостачання, Вінницький національний технічний університет