

РОЗРАХУНКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ ПАЛЬОВОГО ПОЛЯ БУДІВЛІ

З використанням методу граничних елементів проведено оптимізацію пальового поля будівлі із спільно працюючих буронабивних паль на сходовій терасі, спрогнозовано їх несучу здатність та проведено порівняння їх роботи як одиночних.

Вступ

Прийняття раціонального типу фундаментів потребує розгляду конкурентних варіантів на стадії технічного проектування з урахуванням інженерно-геологічних умов будівельного майданчика та проведення техніко-економічних порівнянь.

Особливістю будівельного майданчика споруди, яка розглянута в роботі, є сходова тераса, на якій розташовується інженерно-побутовий корпус Дністровської ГАЕС. Початковим варіантом фундаментної конструкції цієї споруди було пальове поле із 124 буронабивних паль-стійок діаметром $d = 820$ см різної довжини ($L = 14,8$ м на вищій терасі, $L = 12,73$ м на середній та $L = 10,7$ м на найнижчій), які опирались на напівскельний ґрунт алевроліт. Несуча спроможність такого пальового поля на порядок перебільшувала вагу споруди, яка згідно з розрахунками за ПК «Ліра» складала $P = 112840$ кН.

Постановка задачі

Прийняті в попередньому варіанті великі довжини паль та їх діаметр не забезпечували економічність рішення фундаментних конструкцій ГАЕС та мінімізацію матеріальних ресурсів. З метою оптимізації пальового поля проведено за МГЕ прогнозний розрахунковий варіант пальового поля із висячих паль меншої довжини та вибрано найекономічніший [1]. План пальового поля та розтин по довжині будівлі показано на рис. 1 і 2.

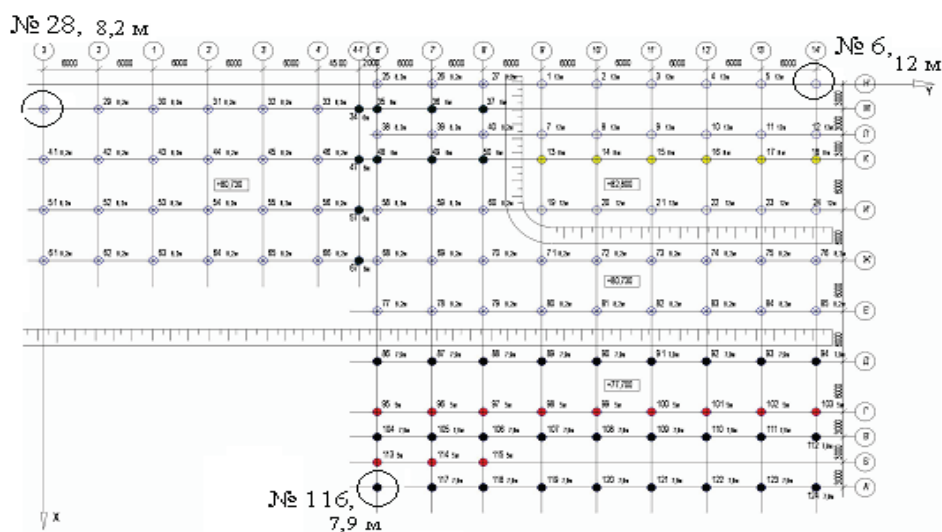


Рис. 1. План пальового поля будівлі

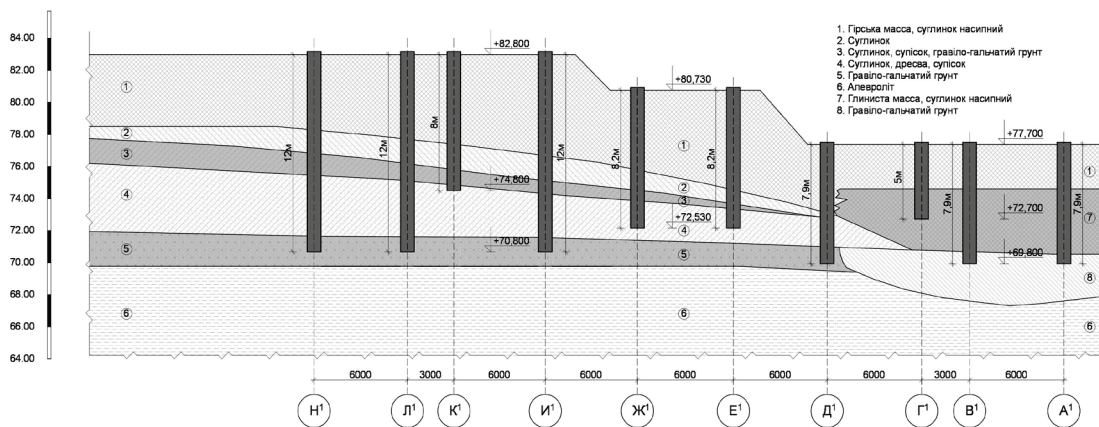


Рис. 2. Геологічний розтин (висячі палі $d = 820$ мм)

Проведений за МГЕ розрахунок несучої спроможності пальового поля будівлі з урахуванням взаємодії активних зон сусідніх паль та сходової тераси будівельного майданчика дозволило запропонувати пальове поле з 124 висячих буронабивних паль такого ж діаметру ($d = 820$ мм) з вкороченими довжинами по терасах: найвищій — $L_1 = 12$ м, середній — $L_2 = 8,2$ м, найнижчій — $L_3 = 7,9$ м. Згідно з даними розрахунку сумарна несуча спроможність такого пальового поля склала 49102 кН за осідання $s = 1$ см. Прогнозне за МГЕ загальне значення осідання будівлі складає 2,3 см, що значно менше допустимого за ДБН для цих видів споруд, $2,3 \text{ см} < [8 \text{ см}]$. Отриманий значний перерозподіл зусиль між палями пальового поля (кутові палі отримували навантаження майже в 2 рази більше, ніж середні крайні) відповідає вимогам МГН [2] та потребує переперевірки роботи кутових паль на всіх терасах.

Розв’язання задачі, визначальні співвідношення

З метою перевірки роботи найнавантажених кутових паль $L_6 = 12$ м, $L_{28} = 8,2$ м, $L_{116} = 7,9$ м розраховано за МГЕ їх прогнозну поведінку у разі навантаження за умови їх роботи як одиночних. З огляду на анізотропію ґрунту по глибині (див. рис. 2) в розрахунках вхідними параметрами приймалися середньозважені фізико-механічні параметри ґрунту: $E = 22,1$ МПа; $\nu = 0,337$; $\phi = 0,48$; $c = 5$ кПа; $\rho = 2,09 \text{ т/м}^3$; $\rho_{\min} = 1,43 \text{ т/м}^3$; $\rho_{\max} = 2,1 \text{ т/м}^3$.

Поведінка ґрунту під навантаженням описувалась дилатанційною пружно-пластичною нелінійною моделлю [3]. Оцінка міцності в моделі (прихід граничної рівноваги) проводилась за критерієм текучості Мізеса–Шлейхера–Боткіна:

$$\begin{cases} f = \sigma_i + \sigma_m tg\psi - \tau_s, & \text{для } \sigma_m \leq \rho_0; \\ f = \sigma_i + \rho_0 tg\psi - \tau_s, & \text{для } \sigma_m > \rho_0, \end{cases} \quad (1)$$

де σ_m — гідростатичний тиск; σ_i — інтенсивність девіатора напружень; ψ , τ_s — відповідно кут внутрішнього тертя та параметр, аналогічний зчепленню на октаедричній площині; ρ_0 — параметр переходу від конуса до циліндра в критерії текучості [3].

Оскільки залежність між $\sigma - \varepsilon$ для ґрунтів нелінійна, розв’язок задачі шукався методом послідовних пружних розв’язків О. А. Іллюшина. На кожному етапі навантаження знаходження постійної залежності обмежувалось умовами нескінченно малих приростів напружень і відповідних їм приростів деформацій. Вихідне граничне інтегральне рівняння (співвідношення між напруженнями і деформаціями на поверхні тіла) отримане К. Бреббія [3]:

$$c_{i,j}(\xi)u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{i,j}^*(\xi, x)u_j(x)d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{i,j}^*(\xi, x)p_j(x)d\Gamma(x), \quad (2)$$

пов’язує значення потенціалу u (переміщень в цій задачі) та його нормальних похідних — потоку

$q = \frac{du}{dx}$ (напружень в цій задачі) в кожному граничному вузлі. В якості фундаментальних розв'язків рівняння (2) $u^*(\xi, x)$ взято сингулярні розв'язки Міндліна для півплощини, через ξ, x відповідно позначена точка прикладання одиничної сили $P = 1$ (точка збурення) та точка нагляду [3]. Рівняння (2) розв'язувалось числовим МГЕ, навколопальовий ґрунт дискретизувався трикутними осередками, рис. 3; бокова поверхня та вістря палі дискретизувались постійними граничними елементами. У постійних граничних елементах рахувалось, що невідомі задані в центрі елемента і мають постійні по всьому елементу значення. Матриця впливу МГЕ (матриця піддатливості з точки зору будівельної механіки) формувалась згідно з фундаментальними розв'язками Міндліна [3]. Результати прогнозу за МГЕ поведінки одиночних паль, палі № 6 ($L_6 = 12$ м), палі № 28 ($L_{28} = 8,2$ м), палі № 116 ($L_{116} = 7,9$ м) показано на рис. 3а—в.

Згідно з даними числових розрахунків несуча спроможність цих паль з осіданням $s = 1$ см складала: $L_6 = 12$ м — 997 кН, для $L_{28} = 8,2$ м — 912 кН, для $L_{116} = 7,9$ м — 883 кН.

За умов роботи цих паль в пальовому полі будівлі для $s = 1$ см палі несуть відповідно 696 кН, 715 кН, 495 кН. Різниця в роботі паль як одиночних і в куці (в пальовому полі) пояснюється результатом взаємовпливу активних зон сусідніх паль.

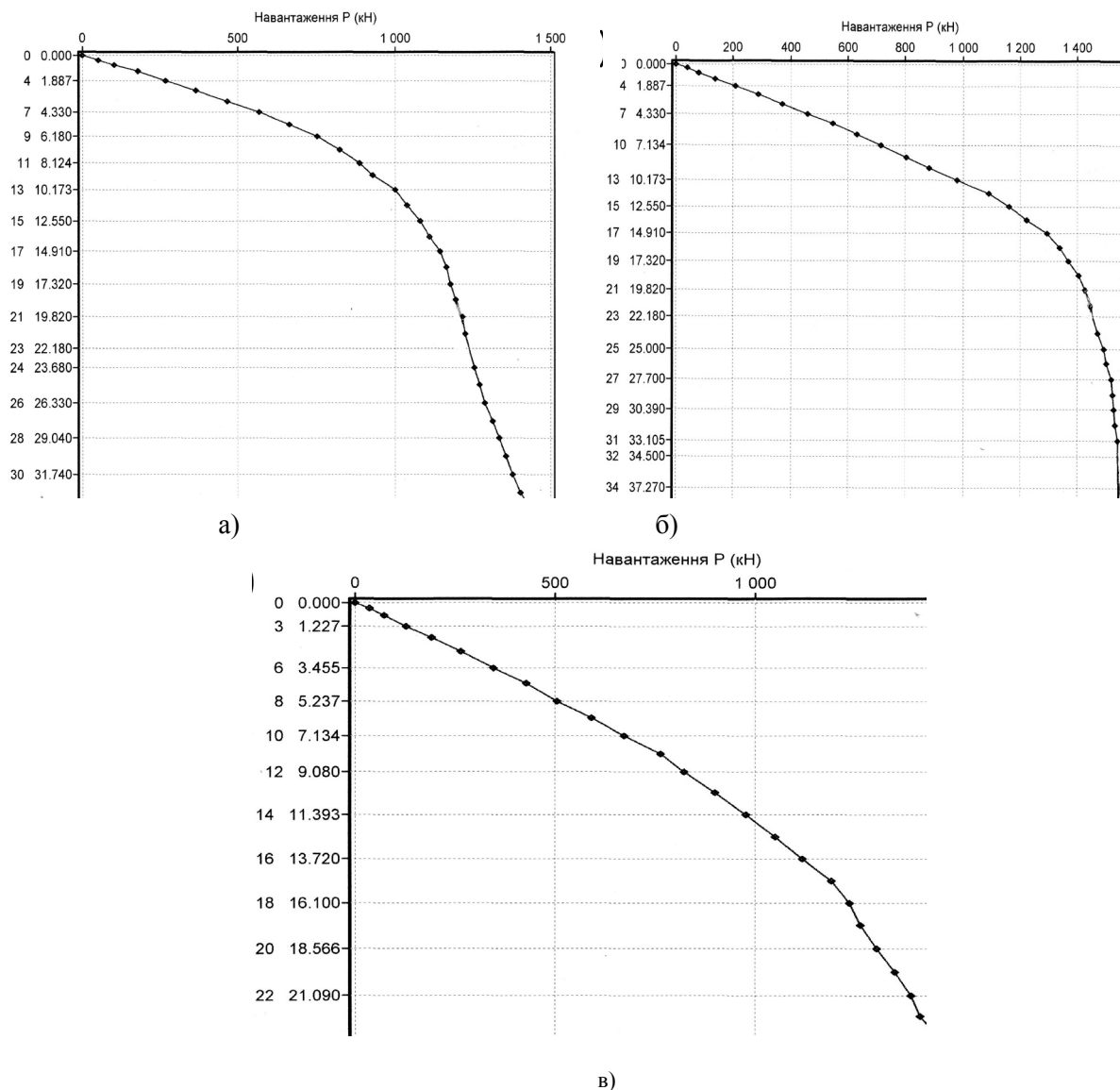


Рис. 3. Графіки деформування одиночних буронабивних паль $d = 820$ см:
 а) $L_6 = 12$ м, б) $L_{28} = 8,2$ м, в) $L_{116} = 7,9$ м, та дискретизація активної зони ґрунтового масиву

Висновки

1. У разі спільної роботи паль в пальовому полі будівлі спостерігається значний перерозподіл зусиль між палями. Отримані в роботі за МГЕ кількісні показники цього перерозподілу відповідають даним нормативних документів.

2. Числовий прогноз за МГЕ роботи найбільш навантажених кутових паль підтверджує лінійний характер їх роботи за заданих переміщень в пальовому полі споруди.

3. Варіант пальового поля будівлі з висячих паль є кращим, оскільки забезпечує значне збереження матеріальних ресурсів за умови збереження допустимого осідання будівлі $s = 2,3 \text{ см} < 8 \text{ см}$ допустимих згідно ДБН. Палі на верхній та нижній терасах скороченні на 2,8 м, на середній терасі — на 4,5 м.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ніцевич А. В. Метод граничних елементів в розрахунках пальового поля будівлі на сходовій терасі / А. В. Ніцевич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : наук-техн. зб. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — № 1. — С. 57—61.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения МГСН 2.07-97. — М. : Стройиздат, 1997. — 79 с.
3. Моргун А. С. Комп'ютерні технології розрахунку фундаментних конструкцій на основі методу граничних елементів : моног. / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніцевич. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 162 с.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Стаття надійшла до редакції 23.12.10

Рекомендована до друку 22.02.11

Моргун Алла Серафимівна — завідувач кафедри, **Ніцевич Андрій Віталійович** — аспірант.

Кафедра промислового та цивільного будівництва;

Шевчук Юлія Юрійвна — студентка Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця