

## ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ПАЛІ НА ЇЇ ОПІР ЗА МГЕ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація** Кошторисна вартість будівництва фундаментів сягає біля 40% загальної кошторисної вартості будівлі. В промисловому та цивільному будівництві України завдяки її геологічним умовам доцільно застосовування пірамідальних палей та особливості їх взаємодії з підвалинами та теоретичні методи розрахунку вивчені недостатньо. Тому тема дослідження НДС раціональних пірамідальних палей є актуальною.

**Ключові слова:** кошторисна вартість, фундамент, НДС, пірамідальна паля.

**Abstract** The estimated cost of construction of foundations reaches about 40% of the total estimated cost of the building. In the industrial and civil construction of Ukraine due to its geological conditions it is advisable to use pyramidal piles and the peculiarities of their interaction with the foundations and theoretical methods of calculation are insufficiently studied. Therefore, the topic of VAT research of rational pyramidal piles is relevant.

**Key words:** estimated cost, foundation, TDS, pyramidal pile.

### Вступ

В роботі проведені числові дослідження за МГЕ по визначенню НДС та несучої спроможності пірамідальних палей, яким властивий опір навантаженням при рівних осіданнях [3] в 1.6 раз більший ніж призматичним палям рівного об'єму. Пірамідальні палі в порівнянні з призматичними мають підвищену несучу спроможність обумовлену збільшенням ущільненої ділянки навколо пірамідальних палей в верхній її частині. Працюючи під навантаженням в розпір пірамідальні палі передають нормальний тиск від навантаження на цей ущільнений об'єм ґрунту лише боковими гранями [3], рис. 1.

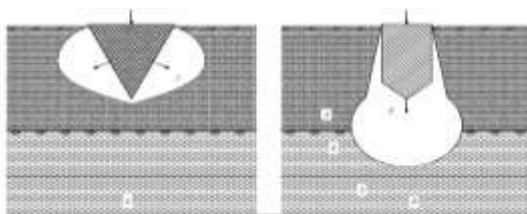


Рис. 1. Схема сумісної роботи пірамідальної (а) та призматичної (б) палей з їх основами: 1 – зона ущільнення і деформації; 2 – зона деформації; 3 – пісок; 4 – торф з мулом

Розміри пірамідальної палі – глибина заглиблення  $L=2$  м., розмір в голові палі –  $80 \times 80$  см., розміри в підшві –  $5 \times 5$  см.

Головною особливістю пірамідальних палей є те, що навантаження від палей не передається на ґрунт, що залягає нижче її підшви, а врівноважується в межах об'єму ущільненої зони ґрунту, що розташовується навколо бокових граней пірамідальної палі, а палі призматичної форми передають навантаження на ґрунт, який залягає нижче її підшви, рис. 1.

Фізико-механічні характеристики ґрунтової основи (пісок) [3]:

$$\rho = 1.88 \text{ т/м}^3, \quad \rho_{\text{dry}} = 1.49 \text{ т/м}^3, \quad w = 0.26, \quad w_p = 0.25, \quad w_L = 0.54, \quad e = 0.84,$$

$$S_r = 0.86, \quad E = 18 \text{ МПа}, \quad \varphi = 21^\circ, \quad c = 26 \text{ КПа}, \quad \varepsilon_{\text{sw}} = 0.08, \quad p_{\text{sw}} = 650 \text{ КПа},$$

$$\rho_s = 2.66 \text{ г/см}^3, \quad \nu = 0.3$$

Числові дослідження роботи пірамідальної палі проведено за числовим МГЕ.

МГЕ використовує лише поверхневу дискретизацію дослідного об'єкту, тому для тривимірних задач фундаментобудування цей метод більш ефективний.

Для розв'язання поставленої задачі використано класичні методи теорії пружності (при визначенні НДС основи), фундаментальні рішення Р. Міндліна для півпростору (для компоновки ядер розрахункового інтегрального рівняння МГЕ), прямий метод граничних елементів (для отримання числового розв'язку розрахункового інтегрального рівняння ()), двовимірні квадратури Гаусса (при інтегруванні дискретних трикутних осередків активної зони основи).

Схему дискретизації бокової поверхні, вістря пірамідальної палі, розміри та дискретизацію активної зони ґрунтової основи, в рамках якої розвиваються деформації ущільнення за розрахунок зменшення об'єму пор ґрунту під дією ефективного зовнішнього тиску, наведено на рис. 2.

В визначальному рівнянні МГЕ використано інтегральний синтез рівнянь рівноваги, геометричних та фізичних рівнянь. Таким чином, поведінка ґрунту під навантаженням описувалась інтегральним рівнянням, отриманим К. Бреббіа:

$$c_{ij}u_j + \int_{\Gamma} p^*_{ij}u_{ij}d\Gamma = \int_{\Gamma} u^*_{ij}p_{ij}d\Gamma + \int_{\Omega} \sigma^*_{jk}\varepsilon^p_{jk}d\Omega \quad (1)$$

де  $u, p$  – шукані вектори переміщень та напружень на границі фундаментної конструкції; інтеграл по області  $\Omega$  ( $\Omega$  – активна зона навколо фундаментної основи) включає вектор пластичних деформацій  $\varepsilon_p$ ;  $\Gamma$  – границя досліджуваного об'єкта;  $u^*, p^*$  – сингулярні фундаментальні рішення Р. Міндіна, що відповідають одиничним взбуджуючим впливам в півпросторі.

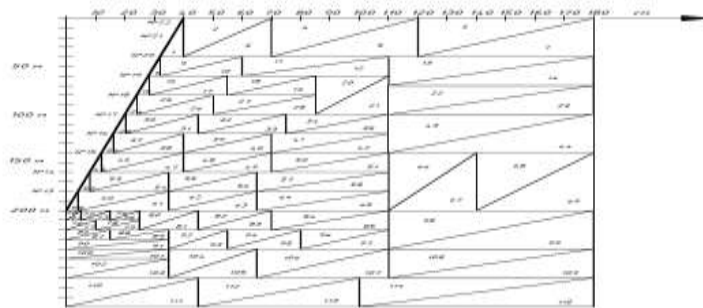


Рис. 2. Схема дискретизації бокової поверхні та активної зони пірамідальної палі

Для оцінки приходу граничного стану (початку порушення рівноваги між частинками ґрунту і його агрегатами, перехід ґрунту в стан пластичної течії) використано октаедричну теорію міцності та критерій текучості Мізера-Шлейхера-Боткіна:

$$\tau_{окт} = f(\sigma_{окт}); \quad f(\sigma_{окт}, \tau_{окт}) = 0 \quad (2)$$

Основою числової реалізації МГЕ є перехід від функціонального інтегрального співвідношення (1) до його алгебраїчного аналога - системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

В роботі замість вимоги ортогональності вектора приросту пластичних деформацій ґрунтової основи  $d\varepsilon_{ij}^p$  до поверхні пластичності  $f$  використано неасоційований закон пластичної течії:

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{dF}{d\sigma_{ij}}, \quad F \neq f \quad (3)$$

та дилатансійні співвідношення В.М. Ніколаєвського, І.П. Бойка [2, 5, 4]:

$$d\varepsilon_{ij}^e = d\varepsilon_{шарове}^p + d\varepsilon_{девіаторне}^p, \quad d\varepsilon_{шарове}^p = \lambda(x)d\gamma^p \quad (4)$$

де  $d\gamma^p$  – скалярна характеристика формозміни, другий інваріант девіатора деформацій  $I_2(D\varepsilon)$ ;  $\lambda(x)$  – коефіцієнт дилатансії.

$$d\varepsilon_{девіаторне}^p = D_{ij}d\lambda \quad (5)$$

де  $D_{ij}$  – девіатор напруг;  $d\lambda$  – скалярний коефіцієнт простого навантаження. В роботі проаналізовано матрицю впливу МГЕ, яка з точки зору будівельної механіки є матрицею піддатливості ґрунтової основи. Як відомо, обернення матриці піддатливості дає матрицю жорсткості.

На рис. 3 показано динаміку розвитку деформацій ґрунту в ущільненій зоні від дії зовнішнього вертикального (гравітаційного) навантаження.

Залежність між  $S=f(P)$  на початку пропорційна і носить майже лінійний характер, потім при збільшенні навантаження деформацій ґрунту розвиваються в менш ущільненому ґрунті, близькому до границі зони ущільнення. Крива  $S=f(P)$  приймає криволінійний обрис і характеризує закінчення І стадії сумісної роботи пірамідальної палі з ущільненим ґрунтом її основи. Подальше збільшення навантаження викликає переміщення і за її межами, що обумовлює різке збільшення осідань.

Забивні фундаменти при дослідженнях в польових умовах показали, що гранична величина осідання, при якій деформації затухають в об'ємі ущільненої зони ґрунту, рівна 8-12 см.

При осіданні 8 см. величина навантаження (несуча спроможність пірамідальної палі за МГЕ) склала 800 кН.

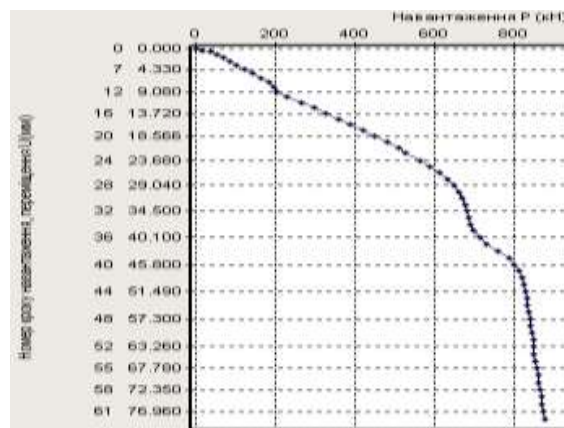
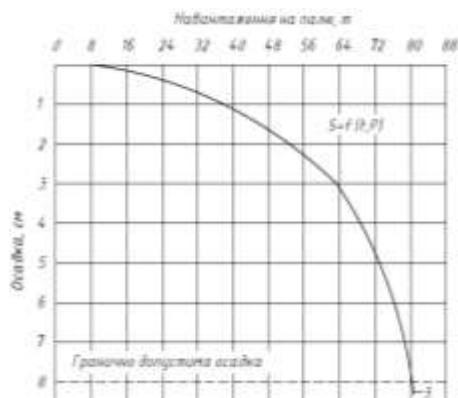


Рис. 3. Результати: а) – експериментальних досліджень [3] та б) – результати числового прогнозу за МГЕ роботи під навантаженням пірамідальної палі [3]

#### Висновки

- Виконано аналіз результатів числових досліджень, проведено співвідношення з експериментальними даними, які отримані безпосередні заміром тиску в ґрунті основи мездозами [3].
- Дістала подальший розвиток математична нелінійна модель прогнозування НДС та несучої спроможності пірамідальних паль від дії вертикальних навантажень шляхом числового моделювання задач пружного півпростору за МГЕ.
- Запропонована методика визначення НДС пірамідальних паль для конкретних ґрунтів і розмірів паль (їх довжини, кута збігу) з метою отримання ефективного проектного рішення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1.Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987.
- 2.Бойко И.П. Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упругопластическом основании / И.П. Бойко, Сб. КИСИ "Основания и фундаменты". – 1985 – №18, С 11-18.
- 3.Матус Ю.В., Митюшев В.Н., Синявский С.Д., Натурные исследования пирамидальных свай в слое песка подстилаемого мощным слоем ила. Сб. основания и фундаменты ОИСИ, 1987 г. С 48-52.
- 4.Моргун А.С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів./А.С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108 С.
- 5.Николаевский В.Н. Современные проблемы механики грунтов // Определяющие механики грунтов // В.Н. Николаевский – М.: Стройиздат. 1975 г. – С. 210-227.

**Моргун Алла Серафимівна** – д.т.н., проф., каф. БМГА Вінницького національного технічного університету; [alla@morgun.com.ua](mailto:alla@morgun.com.ua);

**Меть Іван Миколайович** – к.т.н., доц. каф. БМГА, декан ФБТЕГП Вінницького національного технічного університету;

**Шевченко Ігор Ігорович** – аспірант каф. БМГА Вінницького національного технічного університету;

**Morgun Alla Serafimovna** – doctor of engineering, prof., dept. BMEA of Vinnytsia National Technical University;

**Met Ivan Nikolaevich** – Ph.D., assoc. dept. BMEA, Dean of FBHEGS Vinnytsia National Technical University;

**Shevchenko Ihor Ihorovich** – postgraduate dept. BMEA Vinnytsia National Technical University.