

МЕХАНІКА ГРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 519:642:624:044:624.15

DOI 10.31649/2311-1429-2021-2-22-26

А. С. Моргун

І. М. Меть

І. І. Шевченко

РОБОТА ПІРАМІДАЛЬНИХ ПАЛЬ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КУТА
КОНУСНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Одним із ефективних методів, що забезпечують надійну експлуатацію споруди, є використання пірамідальних паль, які в порівнянні з призматичними палями мають підвищену несучу спроможність, обумовлену збільшенням ущільненої зони навколо пірамідальної палі у верхній її частині.

В роботі на основі розгляду теоретичних основ реології глинистих ґрунтів та використання числового методу граничних елементів викладено результати числових досліджень поведінки під навантаженням пірамідальних паль.

Інтенсивний розвиток механіки ґрунтів, яка суттєво впливає на економічність прийнятих рішень, та широке застосування ЕОМ значно наблизили фундаментальні математичні проблеми до прикладних, посилюючи їх взаємовплив.

Використання числового експерименту як ніколи раніше тісно пов'язало фізичний зміст задачі, її математичне формулювання, числові методи розрахунку та ЕОМ. Зростаючі запити будівельної практики ведуть до ускладнення прикладних задач. Числовий експеримент дозволяє виділити раціональне зерно, описати найважливіші види поведінки фундаментальної конструкції, провести математичне обґрунтування, записати математичну модель, яка перевіряється за допомогою експериментів.

Завдяки геологічним умовам України в промисловому та цивільному будівництві доцільно застосування пірамідальних паль, та особливості їх взаємодії з підвалинами та теоретичні методи розрахунку вивчені недостатньо. Відсутність надійних методів оцінки несучої спроможності пірамідальних паль призводить до збільшення коефіцієнтів запасів, прийняття недосконалих рішень, утруднює їх широкому впровадженню в будівельну практику. Тому тема дослідження НДС раціональних пірамідальних паль є актуальною для сьогодення.

Ключові слова: напружено-деформований стан, несуча спроможність, числовий метод граничних елементів.

Вступ

Основним показником експлуатаційної придатності об'єктів є фактична несуча спроможність будівельних конструкцій. Міри по попередженню деформацій і аварій споруд пов'язані з обов'язковим визначенням несучої спроможності будівельних конструкцій на основі використання сучасних науково-технічних досягнень.

З точки зору експлуатаційної надійності споруди ставляться підвищені вимоги до точності розрахунку переміщень під діючими навантаженнями. Для формування реальної математичної моделі ґрунтової основи виникає необхідність розгляду математичного апарату пластичних та гранульованих середовищ, які в найбільшій мірі відображають реальним властивостям ґрунту. Використаний в роботі числовий МГЕ базується на понятті фундаментального розв'язку краєвої задачі та підходить до розв'язку задач теорії пружності та пластичності, зменшуючи при цьому розмірність задачі на одиницю.

Експериментальні дослідження проводились на дослідній площадці в глинах шаром 11 м.[3] з наступними фізико-механічними властивостями:

$$\rho = 1.88 \text{ т/м}^3, \quad \rho_{\text{dry}} = 1.49 \text{ т/м}^3, \quad e = 0.84,$$

$$E = 18 \text{ МПа}, \quad \varphi = 21^\circ, \quad c = 26 \text{ КПа}, \quad \varepsilon_{\text{sw}} = 0.08, \quad \nu = 0.42$$

В роботі проведено перехід до числової реалізації краєвої задачі поведінки пірамідальних паль в ґрунті довжиною 2 м (рис.1):

(С5) з розмірами в голові палі радіусом – 0.246 м., в підшві палі радіусом – 0.1835 м, з кутом конусності $\beta = 1.79^\circ$;

(С6) з розмірами в голові палі радіусом – 0.346 м., в підшві палі радіусом – 0.096 м, з кутом конусності $\beta = 7.13^\circ$.

Навантаження від пірамідальних паль не передається на ґрунт, що залягає нижче її підшви, а врівноважується в межах об'єму ущільненої зони ґрунту, який розташований навколо бокових граней

пірамідальної палі. На рис.1 наведено дискретизацію граничної поверхні палі з ґрунтом та дискретизацію активної зони ґрунтової основи в рамках якої розвиваються деформації ущільнення ґрунтової основи.

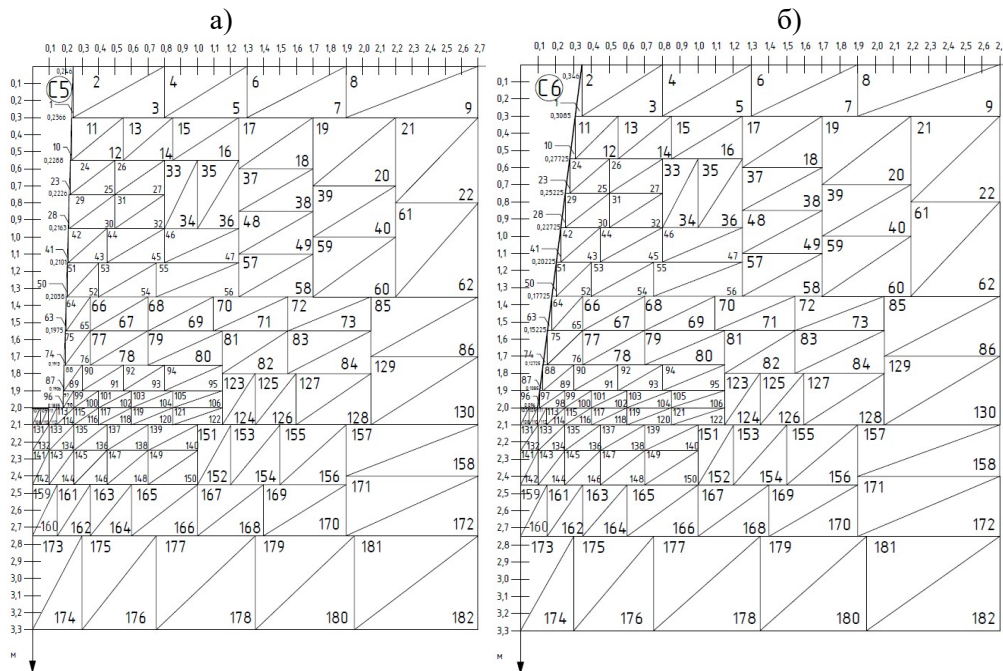


Рисунок 1 – Схема дискретизації бокової поверхні та активної зони пірамідальних палей: а – палія С5; б – палія С6

Ідея подання конструкції у вигляді дискретних елементів була сформульована ще Пуассоном. Зараз необхідно відмітити якісно новий етап розвитку цієї ідеї в сучасних числових методах, як в МСЕ, так і в МГЕ.

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

Методика та результати досліджень

Визначальне рівняння МГЕ являє інтегральний синтез рівнянь рівноваги, геометричних та фізичних рівнянь. Поведінка ґрунту під навантаженням описувалась інтегральним рівнянням, отриманим К. Бреббія [1]:

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

де u, q – шукані вектори переміщень та напружень на границі фундаментної конструкції; інтеграл по області Ω (Ω – активна зона навколо фундаментної основи) включає вектор пластичних деформацій ε_p ; Γ – границя досліджуваного об’єкту; u^*, q^* – сингулярні фундаментальні рішення Р. Міндліна, що відповідають одиничним взбурюючим впливам в півпросторі.

Практика розрахунків показала, що при інтегральній оцінці НДС достатньо хороші результати отримуються коли фізичні залежності описуються постійними граничними елементами. Функції u, q в цьому випадку призначаються в центральній точці ГЕ і мають постійне значення по довжині ГЕ. Постійні ГЕ дають прийнятну точність розрахунку.

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

Прихід граничного стану (перехід ґрунту в стан пластичної течії) визначався за октаедричною теорією міцності та критерієм текучості Мізера-Шлейхера-Боткіна [2,5]:

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

Виникнення та розвиток дилатансійних зон в ґрунтовій основі, які є головним джерелом дисипації механічної енергії, описувалось неасоційованим законом пластичної течії [2]:

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

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 $d\varepsilon_{ij}^p$ – вектор приросту пластичних деформацій ґрунтової основи, $d\gamma^p$ – 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 компонується матриця впливу МГЕ, яка з точки зору будівельної механіки є матрицею піддатливості ґрунтової основи, а як відомо, матриця, обернена до матриці піддатливості, дає матрицю жорсткості.

Аналіз результатів числових досліджень

На рис. 2 подано дані експериментальних статичних досліджень [3] поведінки під навантаженням пірамідальних паль С5 та С6 та проведено порівняння з ними результатів числових досліджень за МГЕ (рис.3,4).

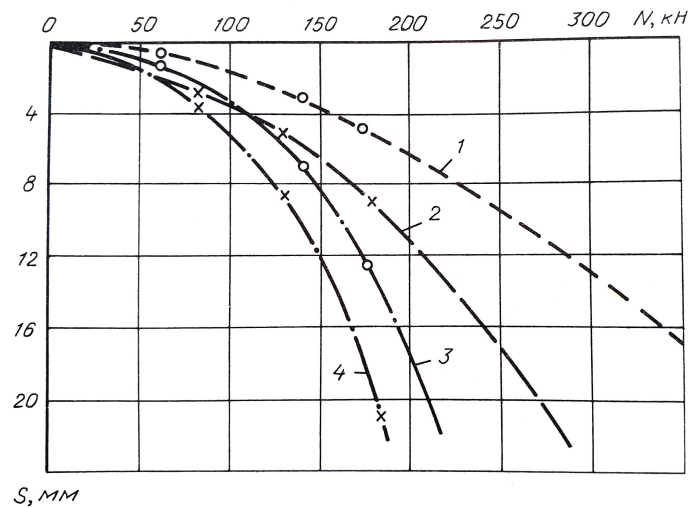


Рисунок 2 – Результати експериментальних досліджень [3] палі С6 (1) та пірамідальної палі С5 (3) в ґрунті природньої вологості; криві 2 та 4 – результати поведінки цих же паль після замочування

При осіданні 2,2 см. величина навантаження (несуча спроможність пірамідальної палі С5 за МГЕ) склала 220 кН., для палі С6 – 410 кН. в ґрунтах природньої вологості. Дані числових досліджень добре співпадають з показниками експериментів [3] та чітко фіксують і числові дослідження і експеримент, що збільшення кута конусності пірамідальної палі сприяє підняттю їх несучої спроможності.

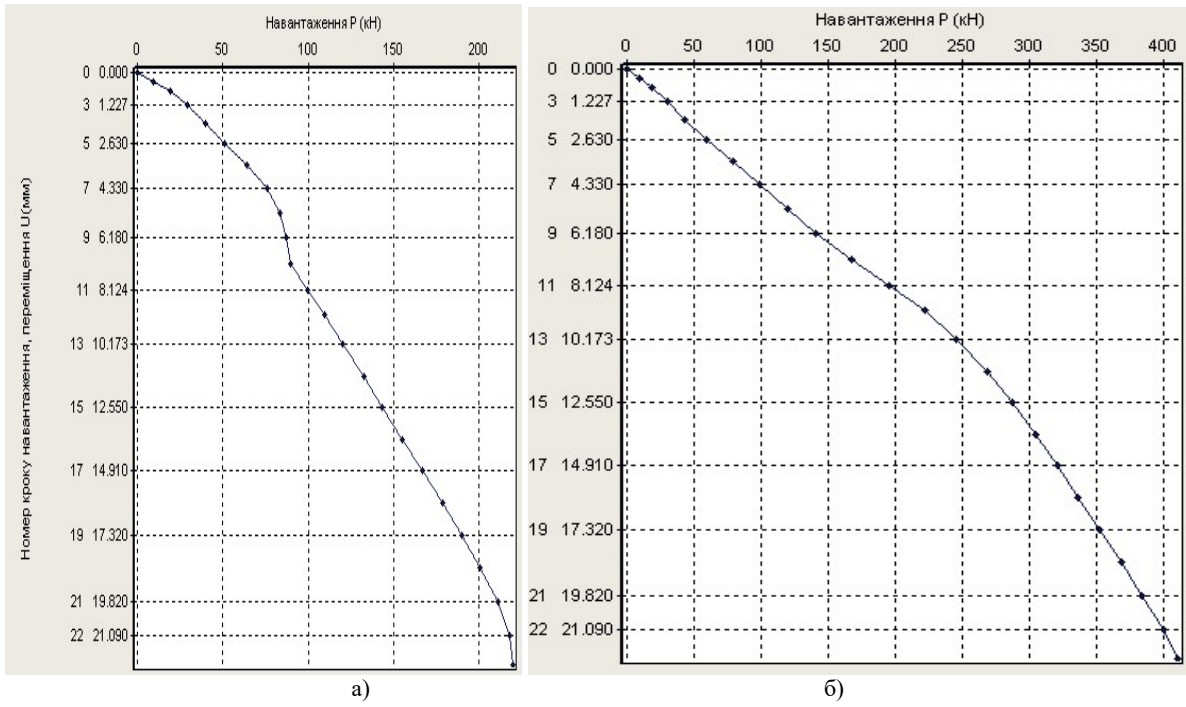


Рисунок 3 – Результати числового прогнозу за МГЕ роботи під навантаженням пірамідальних паль [3]: а) – С5, б) – С6 в ґрунті природньої вологості

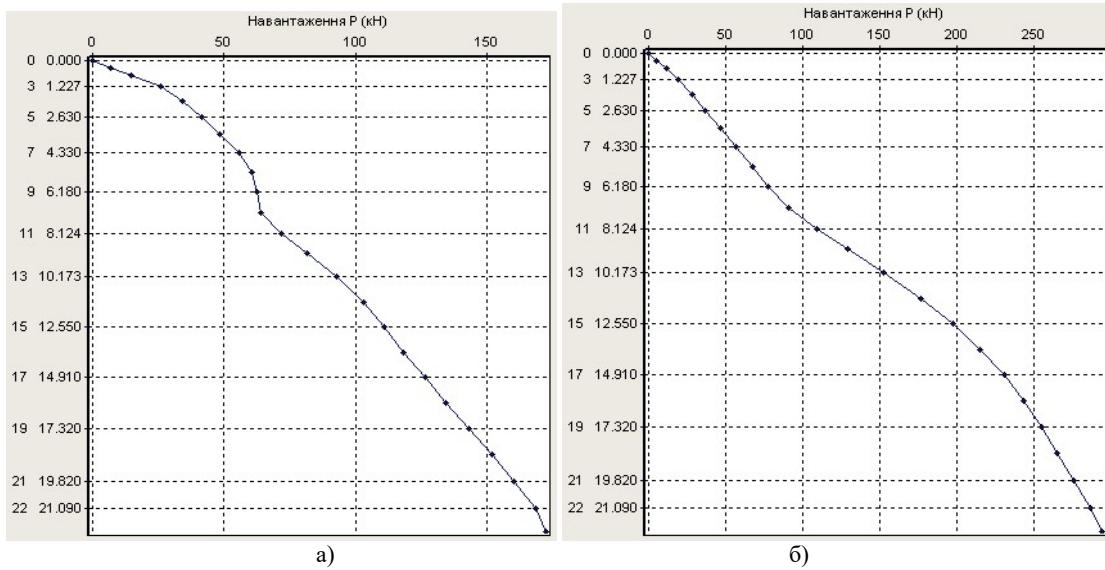


Рисунок 4 – Результати числового прогнозу за МГЕ роботи під навантаженням пірамідальних паль [3]: а) – С5, б) – С6 після замочування

Із даних експериментальних досліджень оптимальним кутом при вершині пірамідальної палі (кут конусності) є кут біля 20° .

Висновки

– Напрацьована за числовим МГЕ нелінійна модель для визначення НДС пірамідальних паль від дії вертикальних навантажень для конкретних ґрунтів і розмірів паль (їх довжини, кута збігу) з метою отримання ефективного проектного рішення.

– Проведений аналіз результатів числових досліджень, та виконане співвідношення з експериментальними даними, які отримані безпосередні заміром тиску в ґрунтові основі мездозами [3] дають хорошу відповідність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бреббиа К., Теллес Ж., Врубел 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. Сорочан Е. А., Ли Е.А. Исследование работы пирамидальных свай в набухающих грунтах. М.: Стройиздат. Сб. Основания, фундаменты и механика грунтов № 2. 1993, С 8-11.
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.

REFERENCES

1. Brebbia K., Telles J., Vroubel L. Methods of boundary elements. M.: Mir, 1987.
2. Boiko I. Theoretical bases of design of pile foundations on the elastic-plastic basis / I.P. Boyko, Sat. KISI "Foundations and Foundations". - 1985 - №18, pp. 11-18.
3. Sorochan E., Lee E. Study of the work of pyramidal piles in swelling soils. M.: Stroyizdat. Sat. Foundations, foundations and soil mechanics № 2. 1993, pp. 8-11.
4. Morgun A. The theory of plastic flow in soil mechanics. Morgun - Vinnytsia, VNTU. - 2013 - 108 C.
5. Nikolaevsky V. Modern problems of soil mechanics // Determining soil mechanics // V. Nikolaevsky - M.: Stroyizdat. 1975 - P. 210-227.

Моргун Алла Серафимівна – професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morgunallaS@qmail.com. ORCID 0000-0002-4701-339X

Меть Іван Миколайович – декан ФБТЕГП; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vanmet@ukr.net

Шевченко Ігор Ігорович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: gumbubble51@gmail.com .

**A. Morgun
I. Met
I. Shevchenko**

WORK OF PYRAMID PILES DEPENDING ON CONEQUENCY ANGLES

Vinnytsia National Technical University

One of the effective methods to ensure reliable operation of the structure is the use of pyramidal piles, which in comparison with prismatic piles have an increased bearing capacity due to the increase of the compacted area around the pyramidal pile in its upper part. In this paper, based on the consideration of the theoretical foundations of the rheology of clay soils and the use of the numerical method of boundary elements, the results of numerical studies of the behavior under the load of pyramidal piles are presented. Intensive development of soil mechanics, which significantly affects the cost-effectiveness of decisions, and the widespread use of computers have significantly brought fundamental mathematical problems in applications, strengthened their interaction. The use of a numerical experiment has more closely linked the physical content of a problem, its mathematical formulation, numerical calculation methods, and computers than ever before. Growing demands of construction practice lead to the complexity of applied tasks. Numerical experiment allows to allocate a rational grain, to describe the most important types of behavior of a base design, to carry out the mathematical substantiation, to write down the mathematical model which is checked by means of experiments. Due to the geological conditions of Ukraine in industrial and civil construction, it is advisable to use pyramidal piles, and the features of their interaction with the bases and theoretical calculation methods are insufficiently studied. The lack of reliable methods for estimating the bearing capacity of pyramidal piles leads to an increase in stock ratios, making imperfect decisions, and makes it difficult to widely implement them in construction practice. Therefore, the topic of VAT research of rational pyramidal piles is relevant today.

Keywords: stress-strain state, bearing capacity, numerical method of boundary elements.

Morgun Alla – Professor of the Department of Construction, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: morgunallaS @ .qmail.com.

Met Ivan – Dekan of FBTEGP; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vanmet@ukr.net

Shevchenko Igor – graduate student of the Department of Construction, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: buttonubble51@gmail.com.