

А. С. Моргун  
І. М. Меть  
І. І. Шевченко

## ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ПАЛІ НА ЇЇ ОПІР ЗА МГЕ

Вінницький національний технічний університет

*Кошторисна вартість будівництва фундаментів сягає біля 40% загальної кошторисної вартості будівлі. В промисловому та цивільному будівництві України завдяки її геологічним умовам доцільно застосовування 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 та прийняття недосконалих рішень.*

*Тому тема дослідження НДС раціональних пірамідальних паль є актуальною. В роботі проведені числові дослідження за МГЕ по визначенню НДС та несучої спроможності пірамідальних паль, яким властивий опір навантаженням при рівних осіданнях. Числові дослідження роботи пірамідальної палі проведено за числовим МГЕ. МГЕ – сучасний числовий метод розв'язання красивих задач будівельної механіки, привернув до себе увагу дослідників головним чином тією властивістю, що суцільне середовище розбивається на ряд елементів, які можна розглядати як окремі частини.*

*Виконано аналіз результатів числових досліджень, проведено співвідношення з експериментальними даними, які стримані безпосередні заміром тиску в ґрунтовій основі мездозамаи*

**Ключові слова:** кошторисна вартість, фундамент, НДС, пірамідальна палля.А

### Вступ

Гостра необхідність в об'єктах соціально-побутового призначення потребує збільшення об'ємів житлового та цивільного будівництва. Ріст об'ємів будівництва можливий при раціональному використанні грошових, трудових та матеріальних ресурсів. Кошторисна вартість будівництва фундаментів сягає біля 40 % загальної кошторисної вартості будівлі. В промисловому та цивільному будівництві України завдяки її геологічним умовам доцільно застосовування пірамідальних паль та особливості їх взаємодії з підвалинами та теоретичні методи розрахунку вивчені недостатньо. Тому тема дослідження НДС раціональних пірамідальних паль є актуальною.

Відсутність надійних методів оцінки несучої спроможності пірамідальних паль призводить до збільшення коефіцієнтів запасів та прийняття недосконалих рішень.

Проблема оцінки несучої спроможності основ фундаментів є визначальною в практичному проектуванні, адже в сучасному будівництві проходить збільшення навантаження на ґрунтову основу з 0,3 до 1 МПа.

В роботі проведені числові дослідження за МГЕ по визначенню НДС та несучої спроможності пірамідальних паль, 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 паль 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.

розміри в підосві – 5×5 см.

Головною особливістю пірамідальних паль є те, що навантаження від паль не передається на ґрунт, що залягає нижче її підосви, 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 підосви, рис. 1.

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

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

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

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

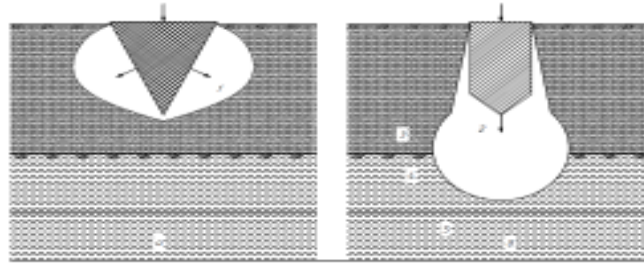


Рисунок 1 – Схема сумісної роботи пірамідальної (а) та призматичної (б) палі з їх основами: 1 – зона ущільнення і деформації; 2 – зона деформації; 3 – пісок; 4 – торф з мулом

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

Числові дослідження роботи пірамідальної палі проведено за числовим МГЕ. МГЕ – сучасний числовий метод розв’язання краєвих задач будівельної механіки, привернув до себе увагу дослідників головним чином тією властивістю, що суцільне середовище розбивається на ряд елементів, які можна розглядати як окремі частини.

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.

Інтенсивний розвиток та широке застосування ЕОМ суттєво наблизило фундаментальні математичні проблеми до прикладних, посилило їх взаємовплив.

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. Бреббія:

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

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. Міндліна, що відповідають одиничним взбуджуючим впливам в півпросторі.

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.

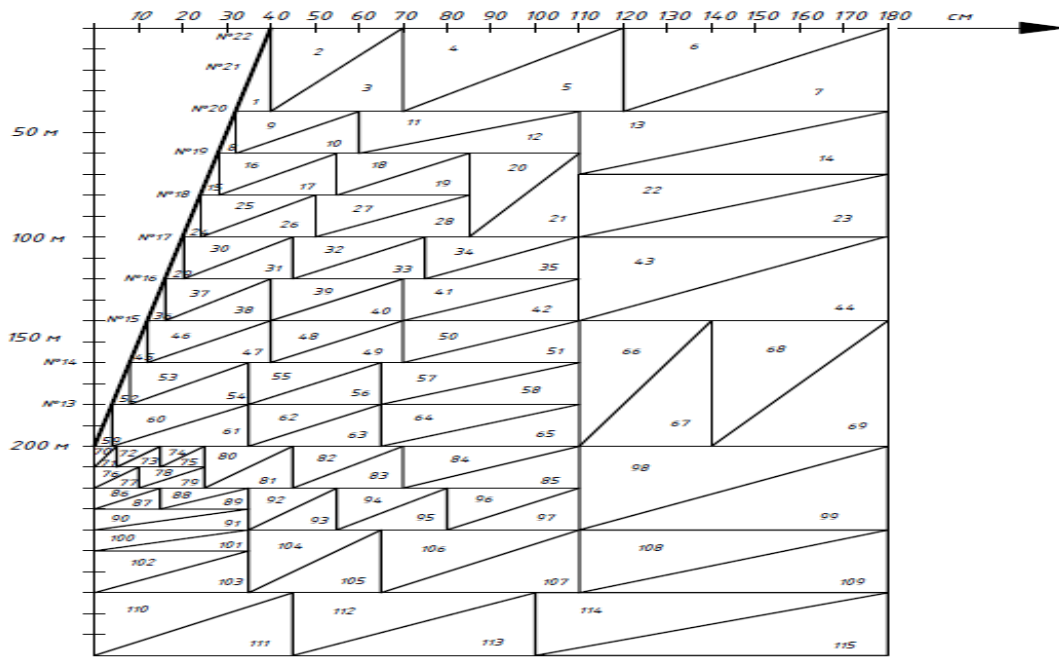


Рисунок 2 – Схема дискретизації бокової поверхні та активної зони пірамідальної палі

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

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

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

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

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

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

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.

### Аналіз результатів числових досліджень

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

Залежність між  $S=f(P)$  на початку пропорційна і носить майже лінійний характер, потім при збільшенні навантаження деформації ґрунту розвиваються в менш ущільненому ґрунті, близькому до границі зони ущільнення. Крива  $S=f(P)$  приймає криволінійний обрис і характеризує закінчення I 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) складала 800 кН.

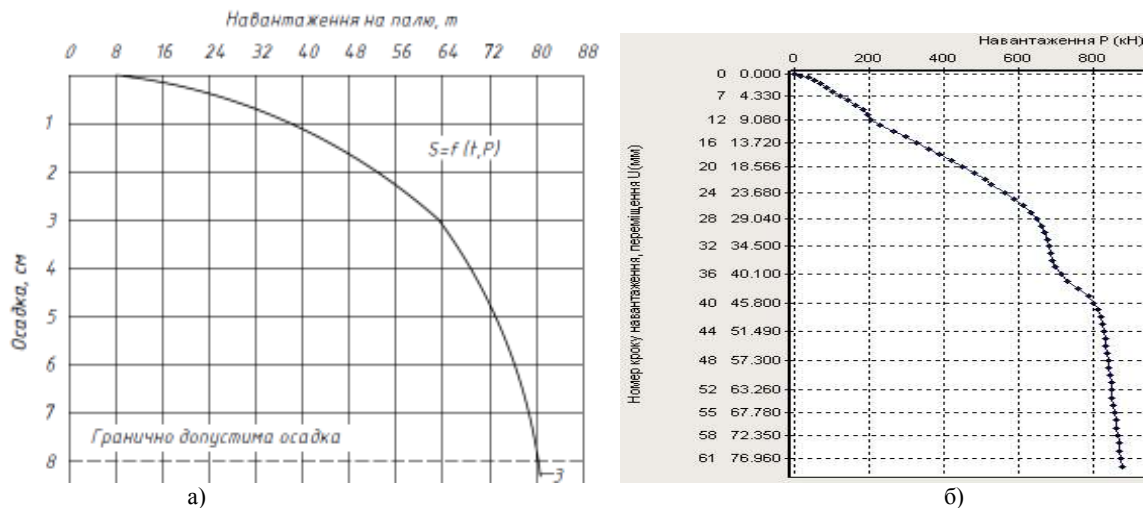


Рисунок 3 – Результати: а) експериментальних досліджень [3] та б) результати числового прогнозу за МГЕ роботи під навантаженням пірамідальної палі [3]

### Висновок

- Виконано аналіз результатів числових досліджень, проведено співвідношення з експериментальними даними, які стримані безпосередні заміром тиску в ґрунті основі 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 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., Naturные исследования пирамидальных свай в слое песка подстилаемого мощным слоем ила. Сб. основания и фундаменты ОИСИ, 1987 г. С 48-52.
4. Моргун А.С. Теория пластической течи в механике ґрунтов./А.С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108 С.
5. Николаевский В.Н. Современные проблемы механики ґрунтов // Определяющие механики ґрунтов // В.Н. Николаевский – М.: Стройиздат. 1975 г. – С. 210-227.

### REFERENCES

1. Brebbiya K., Telles ZH., Vroubel L. Metody granichnykh elementov. M.: Mir, 1987.
2. Boyko I.P. Teoreticheskiye osnovy proyektirovaniya svaynykh fundamentov na uprugoplasticheskikh osnovanii / I.P. Boyko, Sb. KISI "Osnovaniya i fundamentey". - 1985 - №18, S 11-18.
3. Matus YU.V., Mityusheva V.N., Sinyavskiy S.D., Naturnyye issledovaniya piramidal'nykh svay v sloye peska podstilayemogo moshchnym sloyem ila. Sb. osnovaniya i fundamentey OISY, 1987 g. S 48-52.
4. Morgun A.S. Teoriya plasticheskogo techeniya v mekhanike gruntov. / A.S. Morgun - Vinnitsa, NTB. - 2013 - 108 S.
5. Nikolayevskiy V.N. Sovremennyye problemy mekhaniki gruntov // opredelyayushchiye mekhaniki gruntov // V.N. Nikolayevskiy - M.: Stroyizdat. 1975 g. - S. 210-227.

**Моргун Алла Серафимівна** – д.т.н., проф., каф. БМГА Вінницького національного технічного університету; [alla@morgun.com.ua](mailto:alla@morgun.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-4701-339x>.

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

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

**А. С. Моргун**  
**И. М. Меть**  
**И. И. Шевченко**

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ СВАИ НА ЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПО МГЭ**

Винницкий национальный технический университет

*Сметная стоимость строительства фундаментов достигает около 40% общей сметной стоимости здания. В промышленном и гражданском строительстве Украины благодаря ее геологическим условиям целесообразно применение пирамидальных свай и особенности их взаимодействия с основаниями и теоретические методы расчета изучены недостаточно. Отсутствие надежных методов оценки несущей способности пирамидальных свай приводит к увеличению коэффициентов запасов и принятия несовершенных решений. Поэтому тема исследования НДС рациональных пирамидальных свай является актуальной.*

*В работе проведены численные исследования по МГЭ по определению НДС и несущей способности пирамидальных свай, которым присущ сопротивление нагрузкам при равных осадках Числовые исследования работы пирамидальной сваи проведено по числовым МГЭ. МГЭ - современный численный метод решения краевых задач строительной механики, привлек к себе внимание исследователей главным образом тем свойством, что сплошная среда разбивается на ряд элементов, которые можно рассматривать как отдельные части*

*Выполнен анализ результатов численных исследований, проведено соотношение с экспериментальными данными, сдержанные непосредственные замером давления в грунтовые основе мездозамы*

**Ключевые слова:** сметная стоимость, фундамент, НДС, пирамидальная свая.

**Моргун Алла Серафимовна** – д.т.н., проф., Каф. БМГА Винницкого национального технического университета; alla@morgun.com.ua.

**Меть Иван Николаевич** – к.т.н., доц. каф. БМГА, декан ФБТЕГП Винницкого национального технического университета.

**Шевченко Игорь Игоревич** – аспирант Винницкого национального технического университета.

**A. Morgun**  
**I. Matt**  
**I. Shevchenko**

## **INFLUENCE OF GEOMETRIC FORM OF PALE ON ITS RESISTANCE TO MGE**

Vinnitsia National Technical University

*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 calculation methods are insufficiently studied.*

*The lack of reliable methods for estimating the bearing capacity of pyramidal piles leads to an increase in inventory ratios and imperfect decisions. Therefore, the topic of VAT research of rational pyramidal piles is relevant. Numerical studies on the IHE to determine the VAT and bearing capacity of pyramidal piles, which are characterized by load resistance with equal subsidence.*

*Numerical studies of the pyramidal pile were performed on the numerical IHE. MGE - a modern numerical method for solving boundary value problems of structural mechanics, has attracted the attention of researchers mainly by the fact that the continuous environment is divided into a number of elements that can be considered as separate parts The analysis of results of numerical researches is carried out, the correlation with experimental data which are restrained by direct measurement of pressure in a soil basis by mezdoses is carried out.*

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

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

**Met Ivan** – Ph.D., assoc. dept. BMEA, Dean, Vinnitsia National Technical University;

**Shevchenko Ihor** – postgraduatedept. BMEAVinnitsia National Technical University.