

А. С. Моргун
Тянь Чженфен

НЕСУЧА СПРОМОЖНІСТЬ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ НА ПРОСАДКОВИХ ҐРУНТАХ ЗА ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна
Парибське відділення інженерії Цзюцюань, Китай

На значних товщах лесових просадкових ґрунтів на теперішній час використовуються буронабивні палі. Буронабивні палі великого діаметру дозволяють порівняно легко прорізати значні товщі просадкових ґрунтів, заглиблюватись в більш міцні ґрунти та передавати на них навантаження від споруди, в любий період року проводити спорудження фундаментів.

Тема роботи присвячена актуальній проблемі фундаментобудування та механіки ґрунтів – пружно-пластичному моделюванню сумісної роботи системи «ґрунтова основа – буро набивна паля» з метою визначення несучої спроможності фундаменту для забезпечення стійкості і малопросадковості споруди, тим самим уникнути її можливого нерівномірного просідання чи руйнування. Наявність пор в трифазних ґрунтах дають можливість отримувати свободу руху. З місць тимчасової дислокації частинки ґрунту можуть переміщуватись в пори. Головною характерною особливістю поведінки ґрунту є те, що їх деформація супроводжується пластичним деформуванням практично з самого початку їх навантаження, що обумовлює при розрахунку ґрунтових основ використання сучасної теорії пластичної течії.

Інтенсивний розвиток та широке застосування ЕОМ суттєво наблизило фундаментальні математичні проблеми до прикладних, посилило їх взаємовплив. Поява нового потужного методу досліджень – числового експерименту – як ніколи раніше тісно пов'язала фізичний зміст задачі, її математичне формулювання, числові методи розрахунку та сучасні ЕОМ.

В роботі для розв'язку нелінійної задачі геомеханіки використано числовий МГЕ, проведено обґрунтування теоретичними викладками та проілюстровано даними числового розрахунку.

Ключові слова: метод граничних елементів, напружено деформований стан, буро набивна паля.

Вступ

Зростаючі запити будівельної практики ведуть до ускладнення прикладних задач. Числовий експеримент дозволяє описати найважливіші види поведінки матеріалу, записати математичну модель, яка перевіряється за допомогою експериментів. Сучасні методи розрахунку є своєрідним мостом між теорією споруд, механікою твердого деформованого тіла, механікою дисперсних середовищ з однієї сторони та проблемами проектування з іншої. В роботі зпрогнозовано за МГЕ поведінку під навантаженням палей з розширенням і без нього, рис. 1.

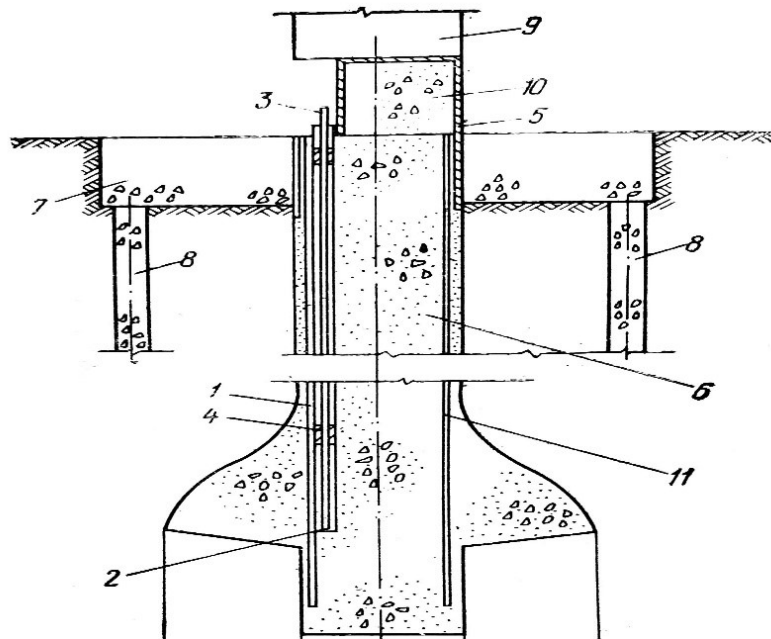


Рисунок 1 – Конструкція буро набивної палі з розширенням

1 – обсадна труба, 2 – пластина, 3 – стержень, 4 – сальник, 5 – оголовок, 6 – стовбур палі, 7 – прямок, 8 – дренажні скважини, 9 – домкрат, 10 – опора домкрата, 11 – армокаркас з стержнів діаметром 25

Будівельна площадка на глибину 35 м. [6] складена шарами суглинку, під якими розташовані алювіальні суглинки та мілкі піски з лінзами глин четвертинного відкладення. Для розрахунку за МГЕ буро набивних палів $L=18$ м. діаметром 1000 мм без розширення і з розширенням 2200 мм [6] взято середньозважені показники фізико-механічних характеристик ґрунту:

$$\rho = 1.82 \text{ т/м}^3, \quad \rho_{dry} = 1.56 \text{ т/м}^3, \quad w = 0.16, \quad e = 0.712, \quad E = 18.26 \text{ МПа}, \quad \phi = 18.3^\circ, \\ c = 24.85 \text{ КПа}, \quad \rho_s = 2.692 \text{ г/см}^3, \quad \nu = 0.35$$

Ідея зведення задач теорії потенціалу до рішення інтегрального рівняння реалізовано [1, 2] в загальну обчислювальну процедуру. Суть МГЕ – перетворення системи диференціальних рівнянь в інтегральне рівняння (1). Рівняння стану, що установлює залежність між потенціалом (переміщеннями) і потоком (напруженнями) на границі дослідного об'єкту отримано К. Бреббія [1] при реалізації числового МГЕ:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ij,j} + b_j &= 0 \\ \varepsilon_{ij} &= \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \\ \sigma_{ij} &= C_{ijkl}\varepsilon_{kl} \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_{ij}(\xi)u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x)u_j(x)d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x)p_j(x)d\Gamma(x), \quad (1)$$

де u -заданий вектор переміщень на границі фундаментної конструкції;

p - шуканий вектор напруг на границі;

u^*, p^*, σ^* - ядра граничного рівняння (1) – рішення Р. Міндліна для переміщень, напружень та похідних від напружень, що відповідають одиничним взбуджуючим впливам ($P=1$) в півпросторі [4];

При обчисленні задачі про взаємодію фундаменту з пружним середовищем в якості фундаментального рішення використано розв'язки Р. Міндліна.

Розглянута змішана задача, яка має задовольняти в пружній і пластичній областях одним і тим же рівнянням рівноваги, геометричним рівнянням, але різним в цих областях фізичним рівнянням (умові текучості в пластичній області) та відповідним граничним умовам.

Це граничне інтегральне співвідношення встановлює зв'язок між $\sigma - \varepsilon$ на границі дослідної області, що привертає увагу дослідників до цього рівняння, оскільки воно дуже підходяще для досліджень числовими методами.

Кожний інтеграл рівняння стану (1) являє роботу узагальненої сили одного стану на відповідним їм переміщенням другого стану.

Рішення граничних задач подають:

- як витікаючи з принципів взаємності (теорема Бетті),
- як рішення, отримані із методу зважених нев'язок.

Для усередження функції нев'язок по дослідній області Ω [2] введено внутрішній добуток диференціального рівняння стану (1) на вагову функцію w^* :

$$\int_{\Omega} Z(u) \cdot w^* d\Omega = 0 \quad (2)$$

де w^* – фундаментальне рішення, яке вибирається в якості вагової функції, в роботі взято рішення Р. Міндліна для півпростору від дії зосереджених одиничних сил, прикладених всередині півпростору, оскільки тиск від фундаментів в ґрунті прикладається не до поверхні ґрунту, а на деякій глибині всередині масиву ґрунту. Фундаментальне рішення і є тим універсальним вспоміжним станом, воно еквівалентне потенціалу поля, утвореного одиничним джерелом, та тотожно задовольняє умовам на границі півпростору ($\sigma = 0$) та дає можливість уникнути дискретного подання цієї частини границі, що значно зменшує об'єм обчислювальних робіт, необхідних для вирішення задачі.

При роботі ґрунту в пластичній стадії з метою визначення величин незворотних пластичних деформацій використано неасоційований закон пластичної течії:

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

де F – пластичний потенціал, функція напружень, частинна похідна від якої пропорційна приросту пластичних деформацій,

f – поверхня текучості.

Залежність формозміни від шарового тензора напружень T_σ є однією із перших особливостей ґрунту. Залежність об'ємної деформації від девіатора напружень D_σ – друга особливість дисперсного середовища ґрунту. Явище зміни об'єму гранульованого дисперсного середовища ґрунту при зсуві було відкрите О. Рейнольдом ще в 1885 р. та назване дилатансією. Дилатансія – це порушення структури, або зміна міцності, що залежить від переміщення частинок ґрунту та робить параметри напружено-деформованого стану суттєво нелінійними.

Для визначення приростів пластичних деформацій ґрунту використано сучасну дилатансійну теорію пластичних середовищ В. М. Ніколаєвського, І. П. Бойка [3, 4]. Повні деформації та прирости пластичних деформацій визначались:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon^e_{ij} + \sum \varepsilon^p_{ij} + d\varepsilon^p_{ij} \delta_{ij}, d\varepsilon^p_{ij} = d\varepsilon^p_{ij(uap)} + d\varepsilon^p_{ij(дeв)} \quad (4, 5)$$

$$d\varepsilon^p_{ij(uap)} = \Lambda(\chi) \cdot d\gamma^p \quad (6)$$

де $d\gamma^p$ - скалярний еквівалент приросту зсувної пластичної деформації на октаедричній площині;

$d\varepsilon^p_{ij}$ - приріст непружних змін об'єму, що супутні зсуву;

χ - параметр зміцнення ґрунту,

Λ – швидкість дилатансії:

$$\Lambda = dV/d\gamma. \quad (7)$$

Розв'язок такої нелінійної задачі проведено методом пружних рішень О. Іллюшина [4, 5], який являє собою реалізацію серії пружних задач, на кожному кроці навантаження розглядалась лінійна задача теорії пружності з різними правими частинами.

В роботі для отримання межі текучості f (межі переходу роботи ґрунту в пластичний стан) використано октаедричну теорію міцності – умову текучості Мізеса-Шлейхера-Боткіна [3], яка враховує вплив всіх 3–х значень головних напружень:

$$\begin{cases} f = T + \sigma_{окт} \cdot tg\psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_{окт} \leq p_0 \\ f = T + \rho_0 \cdot tg\psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_{окт} > p_0 \end{cases} \quad (8)$$

де f – поверхня текучості, T – другий інваріант девіатора напружень.

При проведенні розрахунку гранична поверхня фундаменту дискретизувалась лінійними граничними елементами, активна зона навколо пального ґрунту дискретизувалась трикутними осередками. Результати експериментальних досліджень [6] та числового моделювання роботи під навантаженням буро набивних паль наведено на рис. 2,3.

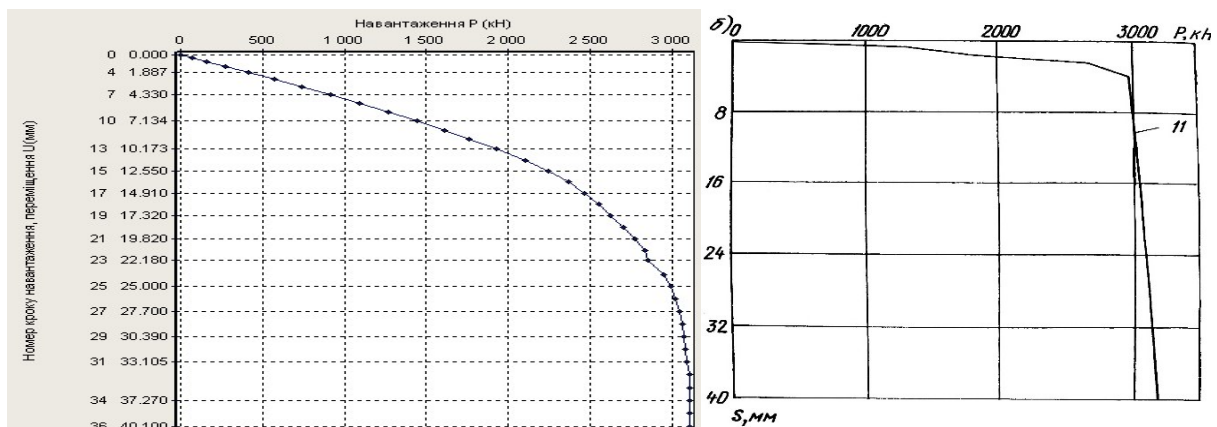


Рисунок 2 – Графіки «навантаження – осідання» результатів числових досліджень за МГЕ та експериментальних даних буронабиної палі L=18м діаметром 1000 мм без розширення [6]

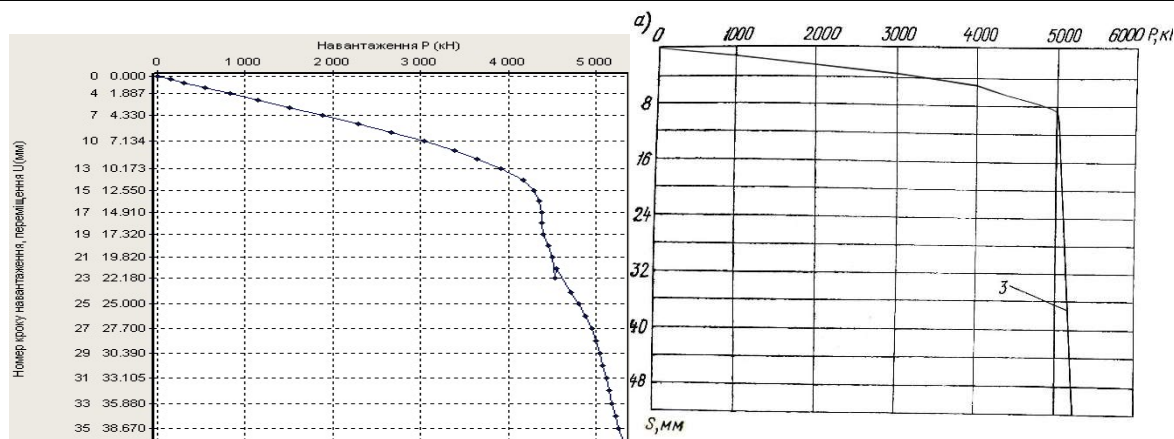


Рисунок 3 – Графіки «навантаження – осідання» результатів числових досліджень за МГЕ та експериментальних даних буронабиної палі $L=18$ м діаметром 1000 мм з розширенням 2200мм [6]

Висновки

1. Методи нелінійного аналізу ґрунтової основи, призначені для числової реалізації, знаходять все більше використання в проектній практиці.
2. Математична дилатансійна модель реалізована на ЕОМ і дозволяє з достатньою для інженера точністю дослідити напружено-деформований стан фундаментної конструкції.
3. Використання МГЕ сприяє широкому застосуванню нових конструкцій фундаментів і рішенню важливої проблеми підняття економічності і надійності фундаментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бенерджи П.К. Метод граничних елементів в прикладних науках: перевод з англ./П.К. Бенерджи, Р. Баттерфілд, - 1984. – 494 с.
2. Бреббія К. Методи граничних елементів/К. Бреббія, Ж. Теллес, Л. Вроубел, пер. з англ., 1987.-524 с.
3. Бойко І.П. Теоретичні основи проектування пальових фундаментів на пружньопластичні основи / І.П. Бойко, Зб. КІСІ “Основи і фундаменти”. – 1985 – №18, С 11-18.
4. Николаевский В.Н. Механика пористых і тріщинуватих середовищ.1984р.
5. Моргун А.С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів. /А.С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108 С.
6. Григорян А.А., Хабібулін І.І. Несуча спроможність буронабивних паль на площадках будівництва Волгодонського заводу важкого машинобудування. Зб. ОФМГ, №2, 1977.

REFERENCES

1. Banerdzhi P.K. Metod hranychnykh elementiv v prykladnykh naukakh: perevod z anhl./P.K. Banerdzhi, R. Batterfield, - 1984. – 494 s.
2. Brebbia K. Metody hranychnykh elementiv/K. Brebbia, Zh. Telles, L. Vroubel, per. z anhl., 1987.-524 s.
3. Boiko I.P. Teoretychni osnovy proektuvannya palovykh fundamentiv na pruzhn'o-plastychni osnovi / I.P. Boiko, Zb. KISI “Osnovy i fundamenti”. – 1985 – №18, S 11-18.
4. Nikolaievskiy V.N. Mekhanika porystykh i trishchynovatykh seredovyshch. 1984r.
5. Morhun A.S. Teoriia plastychnoi techii v mekhanitsi hruntiv. /A.S. Morhun – Vinnytsia, VNTU. – 2013 – 108 S.
6. Hryhorian A.A., Khabibulin I.I. Nesucha spromozhnist' buronabyvnykh pal' na ploshchadkakh budivnytstva Volhodons'koho zavodu tiazhkoho mashynobuduvannia. Zb. OFMG, №2, 1977.

Моргун Алла Серафимівна – професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morgunallaS@gmail.com

Тянь Чженфен - аспірант ФБЦЕІ; Вінницький національний технічний університет, e-mail: 575138236@qq.com.

**A. Morgun
Tian Zhengfen**

BEARING CAPACITY OF DRILLING PILLS ON SAVED SOILS BY NUMERICAL METHOD OF BOUNDARY ELEMENTS

Vinnytsia National Technical University
Parib Engineering Branch Jiuquan

Currently, bored piles are used on large strata of loess subsidence soils. Large diameter bored piles make it relatively easy to cut significant thicknesses of subsidence soils, dig deeper into stronger soils and transfer loads from the structure to them, and build foundations at any time of the year. The topic of the work is devoted to the topical problem of foundation construction and soil mechanics - elastic-plastic modeling of joint work of the system "soil base - brown pile" to determine the bearing capacity of the foundation to ensure stability and low subsidence of the structure, thus avoiding its possible uneven subsidence or destruction. The presence of pores in three-phase soils make it possible to obtain freedom of movement.

Soil particles can move into the pores from the places of temporary dislocation. The main characteristic feature of soil behavior is that their deformation is accompanied by plastic deformation almost from the beginning of their load, which determines the use of modern theory of plastic flow in the calculation of soil bases. Intensive development and widespread use of computers have significantly brought fundamental mathematical problems closer to applied ones, strengthened their interaction. The emergence of a new powerful method of research - numerical experiment - has never before closely linked the physical content of the problem, its mathematical formulation, numerical calculation methods and modern computers. In order to solve the nonlinear problem of geomechanics, numerical MBE was used, substantiation by theoretical calculations was performed and numerical calculation data were illustrated.

Keywords: boundary element method, stress-strain state, brown pile.

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

Tian Zhengfen – PhD student at FBCI; Vinnytsia National Technical University, e-mail: 575138236@qq.com