

*А.С. Моргун, д.т.н, професор, І.М. Меть, асистент
А.В. Ніцевич, аспірант
Вінницький національний технічний університет*

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТУ ДЛЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНІКИ

Виконано компоновку нелінійної моделі поведінки ґрунту, наведено визначальні співвідношення. Запропоновано алгоритм визначення параметрів стану дисперсного ґрунту. Використовуючи чисельний апарат методу граничних елементів та напрацьовану модель, було спрогнозовано осідання висячої одиночної палі та порівняно з експериментальними даними.

Ключові слова: *нелінійна модель, параметри ґрунту, чисельне моделювання.*

*А.С. Моргун, д.т.н., професор, И.Н. Меть, ассистент
А.В. Ницевич, аспирант
Винницкий национальный технический университет*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ

Выполнено компоновку нелинейной модели поведения ґрунта, приведены определяющие соотношения. Предложен алгоритм определения параметров состояния дисперсного ґрунта. Используя численный аппарат метода граничных элементов и наработанную модель, было спрогнозировано осадки висячей одиночной сваи и сопоставлено с экспериментальными данными.

Ключевые слова: *нелинейная модель, параметры ґрунта, численное моделирование.*

*A.S. Morgun, Sr.Dr., Prof., I.M. Met, Assistant
A.V. Nitsevych, post-graduate
Vinnytsia National Technical University*

DETERMINATION OF THE KINEMATIC CHARACTERISTICS OF THE SOIL FOR APPLIED PROBLEMS OF SOIL MECHANICS

Completed positioning nonlinear behaviors of soil, are proposed defining relations. The algorithm for determining the parameters of the dispersed state of the soil. Using a numerical unit boundary element method and gain model was predicted precipitation hanging single pile and compared with experimental.

Keywords: *nonlinear model, parameters of the soil, the numerical simulation.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Для аналітичного розгляду задачі мінливості процесу деформування ґрунтових основ будівель під навантаженням на сьогодні залучають механіку суцільних та пористих середовищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Прогноз осідання споруд з урахуванням історії навантаження та нелінійного деформування ґрунту здійснюється за допомогою математичних моделей, що використовують інкрементальну теорію (теорію пластичної течії) [1] та теорію дисперсного середовища ґрунту В.М. Ніколаєвського, І.П. Бойка [2, 3] як такі, що найбільш повно

відображають поведінку середовища ґрунту. Нелінійний аналіз ґрунтових основ все більше використовується в будівельній практиці у зв'язку з необхідністю раціонального використання міських територій та збільшенням висотності споруд.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. При компоновці нелінійної моделі [1] виникає потреба формулювання умов переходу роботи ґрунту від пружного до пластичного стану. Для узагальнюючого поняття границі текучості в просторі тензора напруг вводилась поверхня текучості f з наступними властивостями: якщо вектор напружень σ , що зображує напружений стан точки ґрунту, виходить на поверхню текучості – ґрунт переходить в пластичний стан. Математичний запис функції текучості (за В.В. Соколовським [4]) $f(\sigma_{ij})=0$ через головні напруження має вигляд $f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)=0$. Вид поверхні текучості інваріантний до вибору системи координат.

Мета роботи. Розробити модель поведінки ґрунтової основи за межами пружності, а саме – в пластичній стадії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для моделювання поведінки ґрунту за межами пружності в пластичній стадії з метою врахування дисипативних ефектів, крім умов рівноваги, у модель вводилось ще дві додаткові:

а) критерій переходу до пластичного стану – модифіковану поверхню текучості Мізеса – Шлейхера – Боткіна, яка відповідає властивостям ґрунтів і не надто складна для практичного використання;

б) залежність між напруженнями і швидкостями деформацій для пластичного стану.

Таким чином, пороговий характер пластичних деформацій визначався поверхнею розриву (рис.1), яка подавалась у вигляді поєднання конічної та циліндричної частин; відносні переміщення середовища ґрунту вздовж поверхонь ковзання визначались октаедричною теорією міцності

$$f = \begin{cases} T + \sigma_m \operatorname{tg} \psi & \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_m \geq p_0; \\ T + p_0 \operatorname{tg} \psi & \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_m < p_0, \end{cases} \quad (1)$$

де f – умова текучості; T – напруження на девіаторній площині; – інтенсивність дотичних напружень; σ_m – гідростатичний тиск, нормальна складова напруження на площадці граничної рівноваги (рис. 1, б); p_0 – рівень гідростатичного тиску, коли ґрунт працює як суцільне середовище (межа переходу від конуса до циліндра), границя практичної стисливості; τ_s – значення інтенсивності дотичних напружень при $\sigma_m = 0$; ψ , C – кут тертя та зчеплення на октаедричній площині.

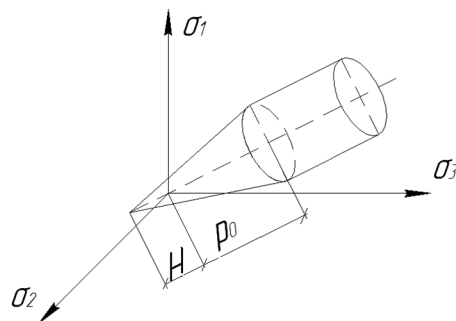


Рисунок 1 – Поверхня текучості (модифікований критерій пластичності) Мізеса – Губера – Боткіна в координатах головних напружень

Взаємозв'язок між швидкостями пластичних деформацій та напруженнями визначається в моделі [1] за неасоційованим законом пластичної течії і має вигляд

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{dF}{d\sigma_{ij}}, \quad F \neq f, \quad (2)$$

де F – пластичний потенціал, функція історії деформування (дисипативна функція пористого середовища ґрунту), визначає напрям вектора $d\varepsilon_{ij}^p$; f – критерій переходу до пластичного стану; $d\lambda$ – скалярний коефіцієнт простого навантаження.

Нестисливість, що є суттєвим кінематичним обмеженням, дозволяє в ряді випадків пластичної течії безпористих матеріалів (метали) передбачати їх формозміну з достатньою точністю без залучення даних про їх напружений стан. Наявність ущільнення ґрунту призводить до помітної перебудови поля швидкостей переміщень. Тому в моделі [1] використано дилатансійну модель пористих середовищ [2, 3], згідно з якою зміна об'єму ґрунту може відбуватися лише при дисипації механічної енергії. Кут внутрішнього тертя ґрунту визначається за формулою

$$\varphi_m = \varphi_f \pm \theta, \quad (3)$$

де φ_f – залишковий кут внутрішнього тертя; θ – кут дилатансії. У теорії пластичної течії через $tg\theta = \Lambda$ визначається швидкість дилатансії, яка є додатковим параметром у неасоційованій моделі течії та визначається відношенням приросту об'ємних деформацій до зсувних:

$$\Lambda = \frac{d\varepsilon^v}{d\gamma}. \quad (4)$$

Дискретизація і квантування неперервного процесу деформування ґрунту під тиском будівель – це складові при прийнятті рішень у цьому процесі, тому в числовому експерименті навантаження прикладається ступенями (покроково) аж до початку пластичної течії ґрунту та руйнування.

Оскільки математичний еквівалент поведінки ґрунту під навантаженням має відповідати даним експериментальних спостережень, у модельні рівняння стану необхідно вводити максимально достовірні дані з «паспорта» ґрунтів – переліку офіційної інформації про характеристики ґрунту. У моделі [1] враховано вплив на несучу спроможність фундаментів восьми геотехнічних характеристик ґрунту (параметрів стану): $E, \nu, \rho, \rho^{\min}, \rho^{\max}, c, \varphi, p_0$.

На недостатньому вивченні дійсних ґрунтових умов акцентували увагу ще К. Терцагі та Р. Пек.

Тому в моделі [1] параметри стану приймалися середньозваженими в активній зоні залежно від шарів залягання. При дії тиску на ґрунт у ньому з'являються зсувні γ та об'ємні деформації ε^v , при цьому його щільність змінюється від ρ^{\min} до ρ^{\max} , рис. 2.

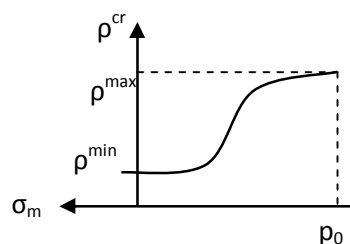


Рисунок 2 – Закон зміни критичної щільності ρ^{cr} в осях гідростатичного тиску p_0

Зсув ґрунту без зміни об'єму проходить, лише коли щільність ґрунту рівна критичній: $\rho = \rho^{cr}$.

Міцнісні (c, ϕ) та деформативні (E, ν) характеристики ґрунту визначались з даних інженерно-геологічних досліджень. Для отримання ρ^{min}, ρ^{max} використано наступний алгоритм [5]:

$$\rho^{min} = \frac{\rho}{h_{max}} \cdot 10; \quad \rho^{max} = \frac{\rho}{h_{min}} \cdot 10, \quad (4)$$

де ρ – вхідна щільність ґрунту, h_{max}, h_{min} – згідно з [5];

Значення параметра стану p_0 – напруження на октаедричній площині, коли ґрунт працює як суцільне середовище (рис.1) та відсутні дилатансійні процеси, визначалось на основі використання закону збереження маси із співвідношення

$$p_0 = \frac{1}{3} K \ln \frac{\rho}{\rho^{max}}, \quad (5)$$

де K – об'ємний модуль деформацій, $K = E/3(1 - 2\nu)$.

Згідно з моделлю [1] та наведеним алгоритмом визначення параметрів стану дисперсного ґрунту проведено нелінійний розрахунок за методом граничних елементів (МГЕ) прогнозу поведінки висячої одиночної палі (рис. 3) С 10-30 в суглинку із середньозваженими геологічними показниками: $E = 15470$ кПа, $\nu = 0,394$, $e = 0,65$, $c = 28$ кПа, $\phi = 27^\circ$.

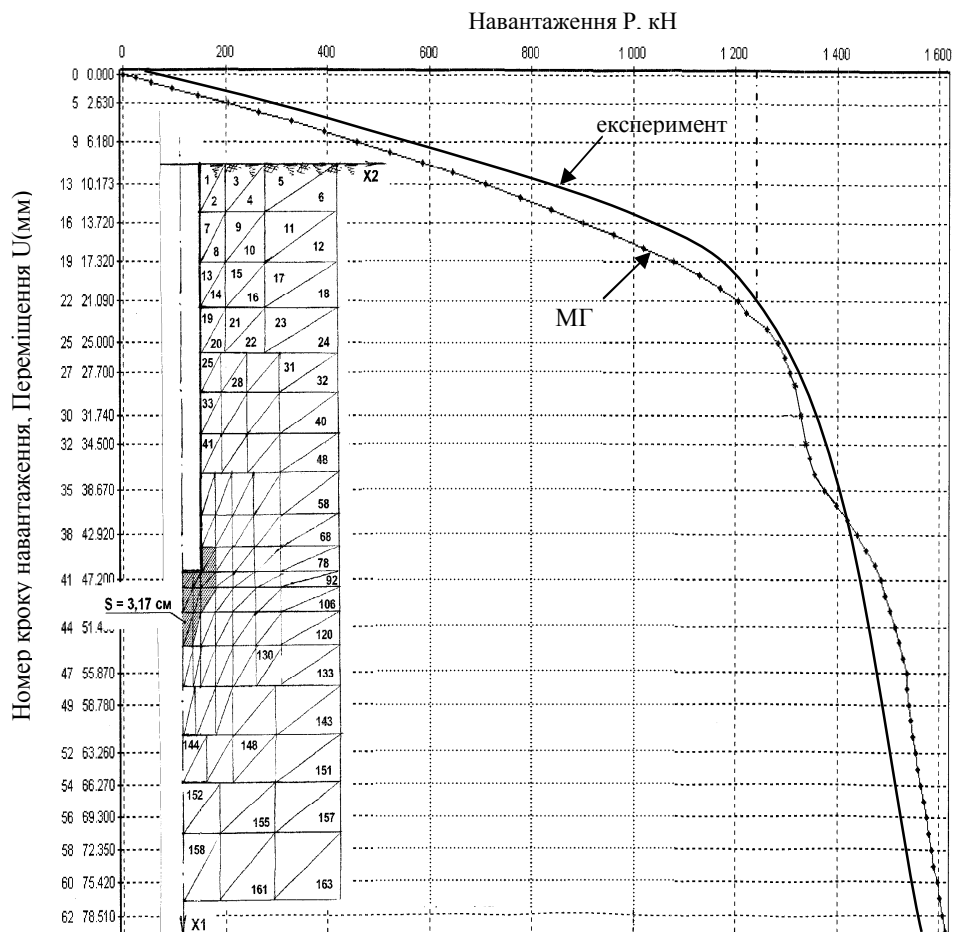


Рисунок 3 – Схема дискретизації активної зони висячої палі $L = 10$ м та вигляд ущільненого ядра при осіданні $s = 3,17$ см

При осіданні палі $s = 2$ см, прогноз за МГЕ несучої спроможності палі склав 1200 кН, експеримент показує 1274 кН, похибка складає 6 %.

Висновки. 1. Переміщення фундаментних конструкцій у ґрунтових основах під дією силових впливів викликає зміну фізико-механічних властивостей ґрунтів, що впливає на їх несучу спроможність. 2. Напрацьована за МГЕ модель поведінки ґрунтової основи дозволяє достовірно описувати поведінку фундаментних конструкцій з достатньою для практичних потреб точністю.

Література

1. Моргун, А. С. *Комп'ютерні технології розрахунку фундаментних конструкцій на основі методу граничних елементів* : монографія / А. С. Моргун, І. М. Меть, А. В. Ніцевич. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 162 с.
2. Николаевский, В. Н. *Современные проблемы механики грунтов* / В. Н. Николаевский // *Определяющие законы механики грунтов*. – М.: Стройиздат, 1975. – С. 210 – 227.
3. Бойко, И. П. *Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упругопластическом основании* / И. П. Бойко // *Основания и фундаменты*. – К.: Будівельник, 1985. – № 18. – С. 11–18.
4. Соколовский, В. В. *Теория пластичности* / В. В. Соколовский. – М.: Высшая школа, 1969. – 608 с.
5. *Визначення основних параметрів геологічної ситуації основи* / А. С. Моргун, А. В. Ніцевич, І. М. Меть, О. Е. Тимошенко // *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: Науково-технічний збірник*. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – № 5. – С. 63 – 67.

Надійшла до редакції 15.10.2012
© А.С. Моргун, І.М. Меть, А.В. Ніцевич