

А. С. Моргун, д. т. н., проф.; А. Д. Балатюк
СТІЙКІСТЬ ПІДПІРНИХ СТІНОК ЗА МГЕ

Наведено матеріали щодо визначення активного тиску ґрунту на огорожі, обчислено знаходження тиску ґрунту на підпірну стінку, вектор напружень та визначено величину горизонтальних переміщень бокової поверхні підпірної стінки. Виконано порівняльний аналіз розрахунків з експериментальними дослідженнями.

Ключові слова: підпірна стінка, тиск ґрунту, метод граничних елементів.

Вступ

Тиск ґрунту на підпірні споруди залежить від опору зсуву підтримуваних ними мас ґрунту. Опір ґрунту зсуву найчастіше є основним чинником, що визначає поведінку ґрунту під навантаженням, тому що він зумовлює точність інженерних розрахунків під час визначення граничного навантаження на ґрунт, стійкість масивів ґрунту, тиск на огороження. Це змінна величина, яка залежить від величини тиску й умов у точках контакту частинок, що чинять опір зсуву. У практиці проектування розглядають граничний опір ґрунтів зсуву.

У прикладних задачах механіки ґрунтів активний тиск ґрунту на огорожі визначають за методами граничних станів. Класичні теорії тиску ґрунту базуються на факті мобілізації активного і пасивного тисків ґрунту, які в дійсності виникають лише в разі повного руйнування. Постає потреба в пошуку моделей ґрунту, які відображали б множину його реальних властивостей.

У статті поставлено завдання напрацювання методики визначення зовнішнього горизонтального навантаження на підпірну стінку, перевищення якого призводить до порушення внутрішніх зв'язків між частинами ґрунту та спричиняє ковзання та зсуви.

Постановка завдання

Ґрунтам властиве безперервне перегрупування їхніх частинок через дії поверхневих і об'ємних сил, тому одне з основних завдань прикладної геомеханіки – кількісне прогнозування механізму перебігу геомеханічних процесів шляхом математичного моделювання.

Для розв'язання поставленого завдання проведено числову реалізацію за МГЕ розрахункового інтегрального рівняння, що пов'язує напруження та деформації на границі підпірної стінки з ґрунтом [1].

$$C_{ij}(\zeta)U_j(\zeta) + \int_i p_{ij}^*(\zeta, x)U_j(x)d\Gamma(x) = \int_i U_{ij}^*(\zeta, x)p_j(x)d\Gamma(x), \quad (1)$$

де $p_j(x)$ – шуканий вектор напружень на границі об'єкта; $U_j(\zeta)$ – заданий вектор переміщень на границі об'єкта; $p_{ij}^*(\zeta, x)$, $U_{ij}^*(\zeta, x)$ – фундаментальні функції Р. Міндіна для напружень і переміщень.

Для числової реалізації за МГЕ задачі знаходження тиску ґрунту (у цьому випадку піску) на підпірну стінку (рис. 1) бічну поверхню та подошву підпірної стінки на рис. 1 розбивала кожна на 5 граничних елементів (ГЕ), по довжині стінки взято 6 ГЕ. Напружений стан (τ_s , τ_r , σ_l) визначали в середніх вузлах кожного ГЕ по довжині та апроксимували лінійною залежністю.

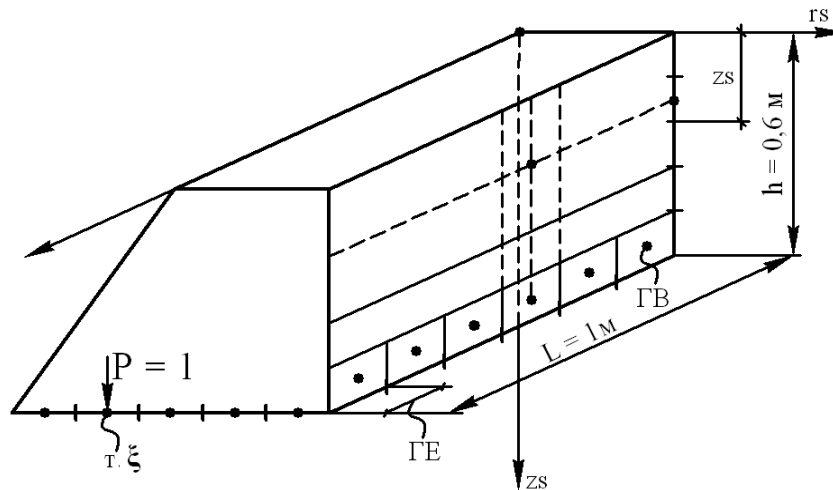


Рис. 1. Дискретизація підпірної стінки граничними елементами

Матричний запис розрахункового рівняння:

$$K\vec{Y} = F, \tag{2}$$

де $\vec{Y} = \begin{pmatrix} \tau_s \\ \tau_r \\ \sigma_l \end{pmatrix}$ – вектор шуканих зусиль (τ_s – дотичні напруження в граничних вузлах (ГВ)

бічної поверхні; τ_r – радіальні напруження в ГВ бокової поверхні; σ_l – нормальні напруження в ГЕ підшви підпірної стінки); F – вектор переміщень, вертикальних і горизонтальних; K – матриця впливу МГЕ, яка складається із фундаментальних рішень Р. Міндліна [1, 2] для пружної півплощини:

$$K = \begin{pmatrix} k_{ss} & k_{rs} & k_{bs} \\ k_{sr} & k_{rr} & k_{br} \\ k_{sb} & k_{rb} & k_{bb} \end{pmatrix}. \tag{3}$$

Складники матриці K : переміщення вузлів бічної поверхні та підшви від дії дотичних τ_s , радіальних τ_r напружень бічної поверхні та нормальних σ_l напружень підшви.

Подвійне інтегрування знайдених із системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) (2) величин радіальних напружень τ_r по бічній поверхні підпірної стінки складало величину активного тиску ґрунту на підпірну стінку. Необхідну у формулі (2) величину горизонтальних переміщень бічної поверхні підпірної стінки визначають із таких міркувань [3]: коли стіна нерухома, зсуви ґрунту за підпірною стінкою неможливі; бічний тиск ґрунту на стінку має залежати лише від пружних властивостей скелету ґрунту, які обмежуються практично для всіх ґрунтів ≈ 10 кПа.

Обрахований із (2) вектор напружень \vec{Y} порівнювали з величиною пружних напружень ґрунту (8 – 12 кПа), що давало можливість визначити величини відповідних горизонтальних переміщень, після цього визначали максимальну величину активного тиску ґрунту на підпірну стінку. Фізико-механічні властивості ґрунтів (E , ν , c), які кількісно вимірюють реакцію (відгук) ґрунту на зовнішні впливи, були вхідними параметрами моделі. У роботі проведено розрахунок за МГЕ бокового тиску дрібного піску (розмір зерен менше 0,25 мм) з такими фізико-механічними показниками: питоме зчеплення ґрунту ($c = 3$ кПа), коефіцієнт Пуассона ($\nu = 0,3$), модуль деформації ($E = 18$ МПа) на стінку $L = 1$ м, висотою $h = 0,6$ м (рис. 1). Вектор радіальних напружень у граничних вузлах бічної поверхні склав $\tau_r = \{4,11$ кПа, $3,92$ кПа, $4,85$ кПа, $2,51$ кПа, $8,17$ кПа $\}$. Інтегрування по бічній поверхні визначило величину активного тиску $E_a = 2,828$ кПа. З метою перевірки достовірності отриманих результатів

дані числового розрахунку за МГЕ порівнювали з експериментальними дослідженнями І. В. Яропольського [4], який зазначив, що тиск ґрунту на підпiрні стiнки залежить від величини переміщення стiнки (рис. 2).

Коли переміщення стiнки перебільшують середній розмір діаметру зерен ґрунту ($w > 0,2$ мм) виникає зсув частинок ґрунту. Для стану спокою ($w < 0,2$ мм) величина активного тиску склала 2,8 кН.

Розрахований, за чинними нормативними документами, активний тиск ґрунту на 1 погонний метр довжини підпiрної стiнки складає 2,828 кН [5].

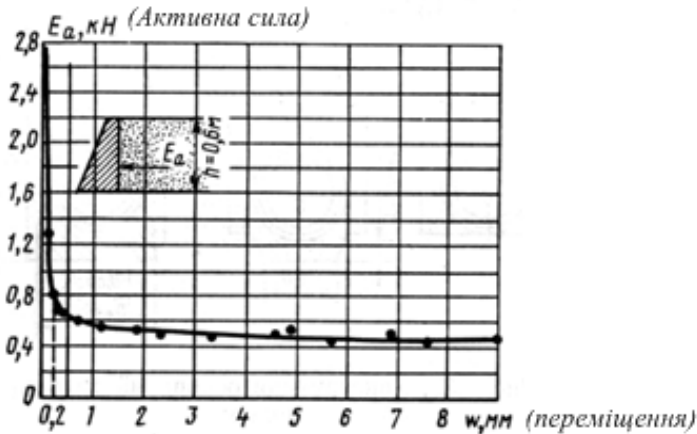


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень І. В. Яропольського, визначення залежності активного тиску від переміщення підпiрної стiнки

Висновки

Напрацьовано за МГЕ методику визначення активного тиску ґрунту на огорожі, яка відповідає експериментальним дослідженням І. В. Яропольського $E_a=2,8$ кН на момент вичерпання пружних властивостей скелету ґрунту та розрахунку за нормативними документами ($E_a=2,828$ кН) (ДБН В.2.1-10-2009).

Запропонована математична модель дозволяє з достатньою для практики точністю визначати бічний тиск ґрунту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бреббия К. Методы граничных элементов / Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. – М. : «Мир», 1987. – 525 с.
2. Моргун А. С. Метод граничных элементов в расчетах палей / А. С. Моргун. – Вінниця: Універсум Вінниця, 2000 – 130 с.
3. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. – М. : «Высшая школа », 1960. – 241 с.
4. Цитович Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цитович. – М. : «Высшая школа », 1983. – 288 с.
5. Моргун А. С. Порівняння розрахункових та експериментальних даних визначення бокового тиску ґрунту на огорожі / А. С. Моргун, А. Д. Балатюк // Вінниця: Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011. – №2 – С. 50 – 53.

Моргун Алла Серафимівна – д. т. н., професор кафедри промислового та цивільного будівництва.

Балатюк Анатолій Дмитрович – магістрант кафедри промислового та цивільного будівництва. Вінницький національний технічний університет.