

УДК 519.642:624.044.624.15

А. С. Моргун, д-р. техн. наук, проф.; А. Д. Балатюк, студ.

## ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОГО ТИСКУ ҐРУНТУ НА ПІДПІРНУ СТІНКУ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Наведено матеріали про визначення активного тиску ґрунту на огорожі, дано розрахунки з знаходження активного тиску ґрунту на підпирну стінку та визначено величину горизонтальних переміщень бокової поверхні підпірної стінки.

Виконано порівняльний аналіз розрахунків з експериментальними дослідженнями І. В. Яропольського, розроблено методику визначення активного тиску ґрунту на огорожі.

### Вступ

Проектування підпирних стін згідно з нормативними документами ведеться за методами граничних станів на основі даних геологічних вишукувань. Класичні теорії тиску ґрунту базуються на факті мобілізації активного і пасивного тисків ґрунту які в дійсності виникають лише у разі повного руйнування.

У сучасному будівельному проектуванні визначення бокового тиску ґрунту є актуальним питанням інженерної геології. Опір ґрунту зсуву часто є основним фактором, саме він визначає поведінку ґрунту під навантаженням. Стійкість ґрунтів у відкосах, за огорожами напруга пов'язана з міцністю ґрунтів на зсув. В роботі поставлено задачу напрацювання методики визначення зовнішнього горизонтального навантаження на підпирну стінку, перевищення якого призводить до порушення внутрішніх зв'язків між частинами ґрунту та спричиняють ковзання та зсуви.

### Постановка задачі, визначальні співвідношення

Для числової реалізації за МГЕ задачі визначення тиску ґрунту (у цьому випадку піску) на підпирну стінку (рис. 1) бокова поверхня та підшва підпірної стінки на рис. 1 розбивались кожна на 5 граничних елементів (ГЕ), по довжині стінки взято 6 ГЕ. Напружений стан ( $\tau_s, \tau_r, \sigma_l$ ) визначався в середніх вузлах кожного ГЕ по довжині та апроксимувався лінійною залежністю.

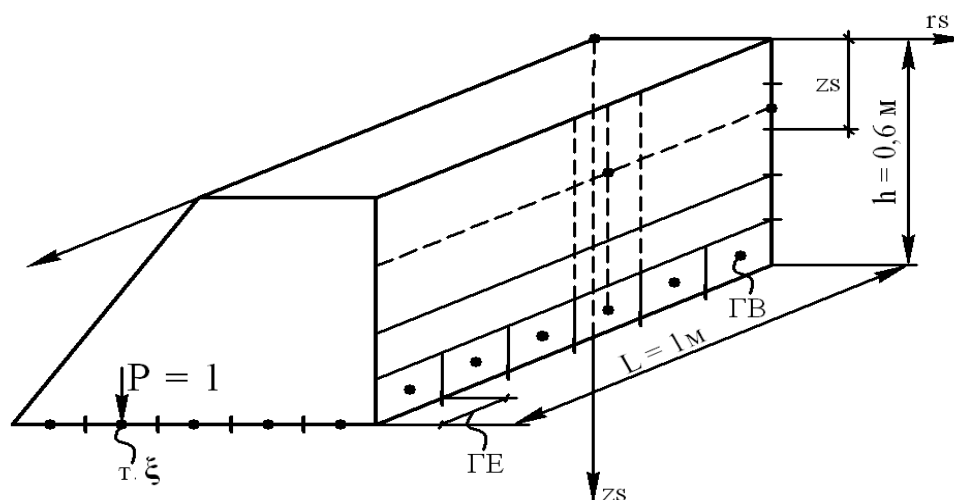


Рис. 1. Дискретизація підпірної стінки граничними елементами

Матричний запис розрахункового рівняння

$$K\bar{Y} = F, \quad (1)$$

де  $\bar{Y}$  – вектор шуканих зусиль ( $\tau_s$  – дотичні напруження в граничних вузлах (ГВ) бокової поверхні;  $\tau_r$  – нормальні напруження в ГВ бокової поверхні;  $\sigma_l$  – нормальні напруження в ГЕ підшви підпірної стінки);  $F$  – вектор переміщень вертикальних та горизонтальних;  $K$  – матриця впливу МГЕ, яка склалася із фундаментальних розв’язків Р. Міндліна [1] для пружної півплощини

$$K = \begin{pmatrix} k_{ss} & k_{rs} & k_{bs} \\ k_{sr} & k_{rr} & k_{br} \\ k_{sb} & k_{rb} & k_{bb} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де підматриці першого рядка – це переміщення точок бокової поверхні  $S$  по вертикалі від дії одиничних сил, прикладених:

- вертикально до бокової поверхні  $\tau_s = 1 (k_{ss})$ ;
- горизонтально до бокової поверхні  $\tau_r = 1 (k_{rs})$ ;
- вертикально до підшви підпірної стінки  $\sigma_l = 1 (k_{bs})$ ;

підматриці другого рядка – переміщення ГВ бокової поверхні підпірної стінки по горизонталі від дії одиничних сил, прикладених:

- вертикально до бокової поверхні  $\tau_s = 1 (k_{sr})$ ;
- горизонтально до бокової поверхні  $\tau_r = 1 (k_{rr})$ ;
- вертикально до підшви підпірної стінки  $\sigma_l = 1 (k_{br})$ ;

підматриці третього рядка – переміщення ГВ підшви підпірної стінки від дії одиничних сил, прикладених:

- вертикально до бокової поверхні  $\tau_s = 1 (k_{sb})$ ;
- горизонтально до бокової поверхні  $\tau_r = 1 (k_{rb})$ ;
- вертикально до підшви підпірної стінки  $\sigma_l = 1 (k_{bb})$ .

Подвійне інтегрування знайдених із СЛАР (1) величин нормальних напружень  $\tau_r$  по боковій поверхні підпірної стінки складала величину активного тиску ґрунту на підпірну стінку. Необхідна в формулі (1) величина горизонтальних переміщень бокової поверхні підпірної стінки визначається із таких міркувань [2]. Коли стіна нерухома, зсуви ґрунту за підпірною стінкою неможливі; боковий тиск ґрунту на стінку має залежати лише від пружних властивостей скелету ґрунту, які обмежуються практично для всіх ґрунтів  $\approx 10$  кПа.

Знайдений з (1) вектор напружень  $\bar{Y}$  порівнювався з величиною пружних напружень ґрунту, що давало можливість визначити величини горизонтальних переміщень, після цього визначалась максимальна величина активного тиску ґрунту на підпірну стінку. В роботі проведено розрахунок за МГЕ бокового тиску піску мілкого (розмір зерен менше 0,25 мм) з такими фізико-механічними показниками:  $c = 3$  кПа,  $\mu = 0,3$ ,  $E = 18$  МПа на стінку  $L = 1$  м, висотою  $h = 0,6$  м (рис. 1). Вектор нормальних напружень в граничних вузлах бокової поверхні склав  $\tau_r = \{4,11$  кПа,  $3,92$  кПа,  $4,85$  кПа,  $2,51$  кПа,  $8,17$  кПа}. Інтегрування по боковій поверхні визначило величину активного тиску  $E_a = 2,828$  кПа. З метою достовірності отриманих результатів дані числового розрахунку за МГЕ порівнювались з експериментальними дослідженнями І. В. Яропольського [3], який відмітив, що розподіл тиску ґрунту на підпірні стінки залежить від переміщення стінки (рис. 2).

Коли переміщення стінки не перевищують середнього розміру діаметра зерен ґрунту ( $w < 0,2$  мм), виникає зсув частинок ґрунту. Для цього випадку величина активного тиску склала 2,8 кН.

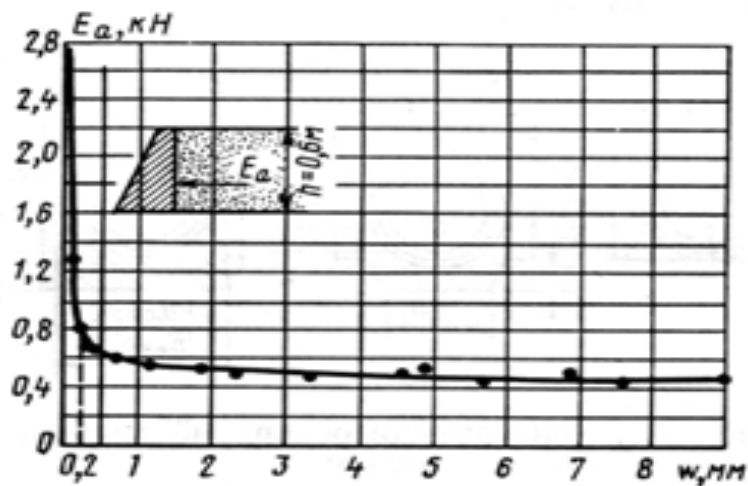


Рис. 2. Результати експериментальних досліджень І. В. Яропольського з визначення залежності активного тиску від переміщення підпірної стінки

### Висновки

1. Розроблено за МГЕ методику визначення активного тиску ґрунту на огорожі.
2. Запропонована математична модель дозволяє з достатньою для практики точністю визначити боковий тиск ґрунту. Результати розрахунків збігаються з даними експериментальних досліджень І. В. Яропольського [3].

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моргун А. С. Метод граничних елементів в розрахунках паль / А. С. Моргун. — Вінниця : Універсум-Вінниця, 2000. — 130 с. — ISBN 966-7199-96-7.
2. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. — М. : «Высшая школа», 1960. — 241 с.
3. Цитович Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цитович. — М. : «Высшая школа», 1983. — 288 с.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Стаття надійшла до редакції 1.11.11  
Рекомендована до друку 14.11.11

**Моргун Алла Серафимівна** — завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва;  
**Балатюк Анатолій Дмитрович** — студент Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця