

## ПРУЖНОПЛАСТИЧНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Вінницький національний технічний університет

А. В. Баранюк

***Анотація.** В роботі наведено практичне опрацювання нової нелінійної технології розрахунку фундаментних конструкцій за числовим методом граничних елементів.*

***Ключові слова:** напружено-деформований стан, метод граничних елементів, пластична течія ґрунту.*

***Annotation.** In the article the practical elaboration of a new nonlinear technology for the calculation of foundation structures by the numerical method of boundary elements is given.*

***Key words:** stress-deformed state, method of boundary elements, plastic flow of soil.*

### Вступ

В роботі проведено аналіз напрацьованих в механіці ґрунтів матеріалів з питання прогнозу поведінки плитних фундаментів, та з позицій механіки дисперсного середовища викладено уявлення про особливості їх поведінки під навантаженням. Теоретичні питання висвітлені в об'ємі, що дозволяє продумано підійти до оцінки роботи ґрунтів в основах фундаментів і проектування їх за межами пружності. Наведено методику розрахунку цього конструктивного розв'язку фундаментів (плитних фундаментів будівлі) для висотних споруд за сучасними комп'ютерними технологіями на основі МГЕ з урахуванням можливості роботи системи «основа - плитний фундамент» в граничному стані, виявити резерви міцності. Прикладання числового МГЕ до розв'язків задач геомеханіки, процесу осідання основ та допустимих навантажень на них обґрунтовано теоретичними викладками, підкріплено та проілюстровано даними числового розрахунку.

### Основна частина

Проведено визначення несучої спроможності плитного фундаменту висотної будівлі (рис. 2). Нелінійну роботу системи «плитний фундамент – основа» змодельовано з використанням сучасного числового МГЕ.

Для реалізації цього методу використано інтегральний синтез рівнянь рівноваги, геометричних та фізичних рівнянь і поведінка ґрунту під навантаженням описувалась інтегральним рівнянням, отриманим К. Бреббія [2,3]:

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

де  $\sigma_{ij,j} + b_j = 0$  – статичні рівняння рівноваги;

$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$  – геометричні рівняння;

$\sigma_{ij} = C_{ijkl}\varepsilon_{kl}$  – фізичні рівняння середовища,

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.

Основою числової реалізації МГЕ є перехід від функціональних інтегральних співвідношень до їх алгебраїчних аналогів. 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 [1,3,4]:

$$\tau_{окт} = f(\sigma_{окт}); f(\sigma_{окт}, \tau_{окт}) = 0 \quad (2)$$

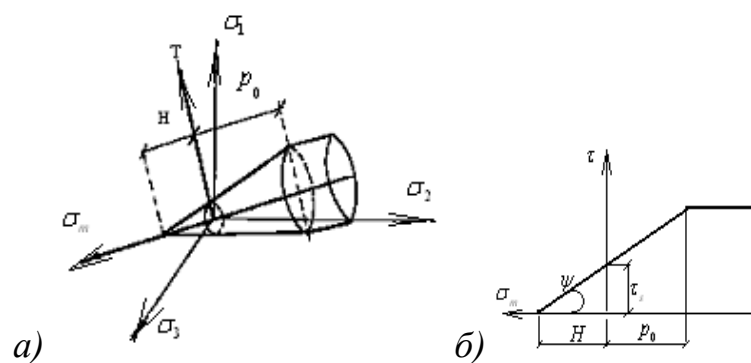
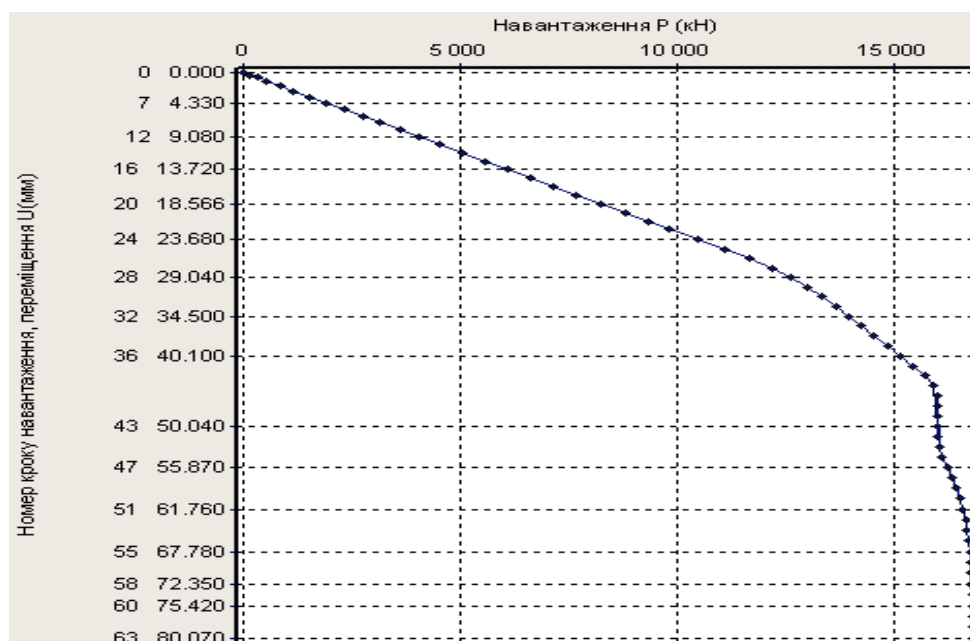


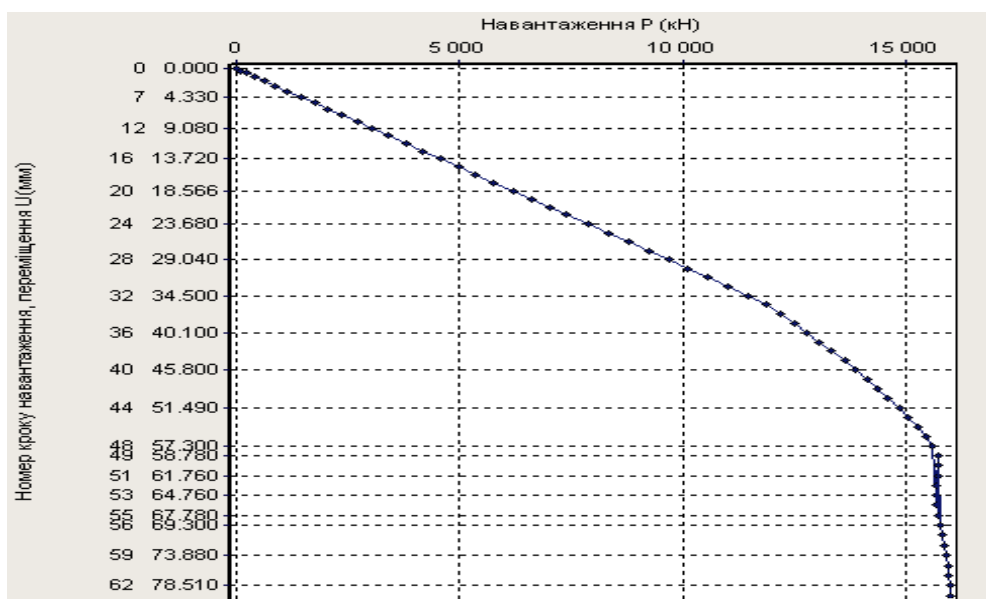
Рис. 1 – Критерій текучості Мізера-Шлейхера-Боткіна в координатах головних напружень (а), меридіональний переріз в площині гідростатичного тиску (б)

В першому варіанті розрахунку товщина фундаментної плити  $H = 0.9$  м. Отриманий графік «навантаження-осідання» подано на рис. 2,а. Несуча спроможність склала 16000 кН. Різке зменшення реактивних тисків під краями фундаментної плити пояснюється тим, що ґрунт в крайніх зонах під плитою «пройшов» стадію дилатансійного зміцнення ( $\lambda < 0, v \downarrow$ ) і став розміцнюватись ( $\lambda > 0, v \uparrow$ ). В цілому ж, роз зміцнення ґрунту під краями фундаментної плити компенсується його зміцненням в центральній частині, і в осіданні не проявляється не лінійності. Зони розміцнення ґрунту зароджуються під краями фундаментної плити і з ростом навантаження розповсюджуються в сторони від фундаментної плити і в глибину основи під центр фундаментної плити. В деякий момент проходить замикання зон розуцільнення в єдину область. Цьому відповідає різке збільшення осідання при практично постійному навантаженні. Дане навантаження має назву граничного [1,3].



а)

З метою оптимізації фундаментної конструкції в другому варіанті розрахунку висоту фундаментної плити зменшено до  $H = 0.6$  м. Результати нелінійного прогнозування на рис. 2,б.



б)

Рис. 2 – Графіки «навантаження-осідання» для фундаментної плити при: а)  $H = 0.9$  м., б)  $H = 0.6$  м.

### Висновки

Реалізація поставленої задачі сприяє підвищенню продуктивності і якості проектування фундаментної конструкції, економії матеріалів і енергетичних ресурсів. Прогноз деформацій основ будівель є пріоритетною задачею механіки ґрунтів, особливо в сучасному будівництві при тисках в основах до 1 МПа.

Пружно-пластичний розрахунок основ за запропонованою математичною моделлю дозволив істотно якісніше за інженерні методи оцінити НДС ґрунтової основи будівельного майданчика та прийняти економічно ефективне проектне рішення по зменшенню висоти фундаментної плити.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойко І. П. Напружено – деформований стан ґрунтового масиву при побудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків // Основи і фундаменти. Міжвідомчий науково – технічний збірник. / І.П. Бойко, В.О. Сахаров. – К.: КНУБА, 2004 – С. 3 – 10.
2. Бреббиа К. Методы граничных элементов: пер. з англ. / К. Бреббиа, Ж. Теллес, К. Вроубел. – М.: – Мир – 1988 – 523 с.
3. Моргун А.С. Деформативність ґрунту при пластичній формозміні та дилатансії: монографія / А. С. Моргун – Вінниця: ВНТУ, 2017, - 103 с.
4. Николаевский В. Н. Современные проблемы механики грунтов // Определяющие законы механики грунтов / В.Н. Николаевський. – М. Стройиздат, 1975 – С. 210 – 227.

*Науковий керівник Моргун Алла Серафимівна* – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету. e-mail: [alla@morgun.com.ua](mailto:alla@morgun.com.ua)

*Баранюк Андрій Валерійович* – магістрант ВНТУ

*Alla Serafimivna* - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction, Urban Management and Architecture of Vinnytsia National Technical University.

*Anddry Baranyc* – postgraduate student of Vinnytsia National Technical University.