

ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ҐРУНТОВОЇ ОСНОВИ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА ЗА МГЕ

Вінницький національний технічний університет

Науково-технічна допомога проектувальникам споруд в складних гідрогеологічних умовах будівництва потребує вирішення задач забезпечення їх експлуатаційної надійності, максимальної ефективності капітальних вкладень, удосконалення методів їх розрахунку. Ця задача є актуальним питанням геотехніки.

Щоб надійно проектувати необхідно знати дійсну несучу спроможність фундаментної конструкції. Відсутність цих даних вимушує проектувальника при розрахунках вводити через мірні запаси міцності, що веде до необґрунтованого подорожчання споруди, яка проектується.

В роботі за числовим методом граничних елементів (МГЕ) з позицій механіки дисперсного пружно-пластичного середовища викладено уявлення прогнозування несучої спроможності фундаментної плити 16-ти поверхової житлової споруди.

Ключові слова: плитний фундамент, напружено-деформований стан (НДС), дисперсія, несуча здатність, метод граничних елементів (МГЕ).

Вступ

Суттєве збільшення ваги сучасних споруд викликає необхідність розвитку нелінійних методів розрахунку з залученням сучасних ЕОМ та пружно-пластичних моделей, які найбільш достовірно відображають пластичну роботу дисперсного ґрунту.

Аналіз дослідів по замірах напружень в ґрунтах і їх осідань свідчать про те, що дійсний розподіл в багатьох випадках суттєво різниться від рішень, отриманих на основі теорії пружності для ізотропних середовищ.

Розглянуто проектування за МГЕ фундаментної плити товщиною 0,8 м для 16-ти поверхової безкаркасної споруди (рис. 1) розмірами в плані 25,2 м * 25,8 м з підвалом 2,7 м. Наявність підвалів, як відомо, покращують роботу споруди, особливо при землетрусах.

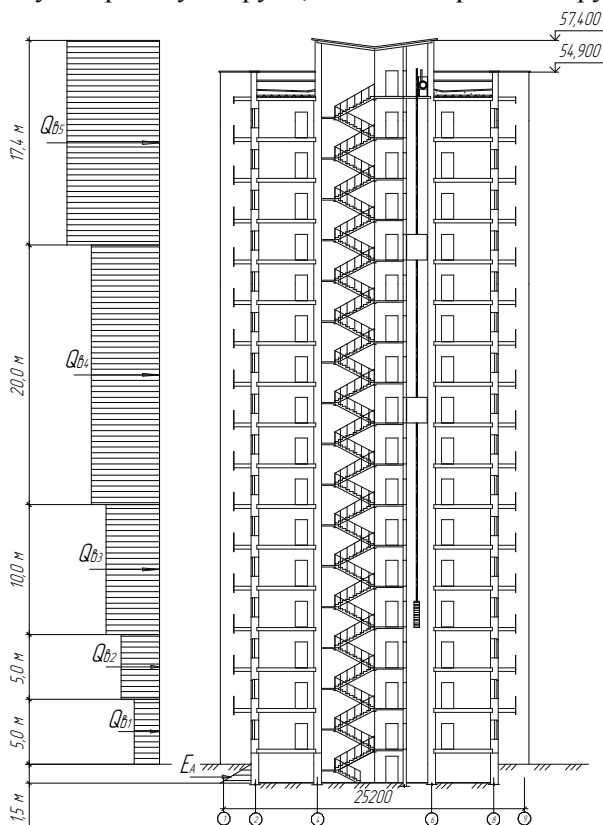


Рисунок 1 – Розріз 16-ти поверхової безкаркасної споруди

Прикладання числового МГЕ до розв'язку нелінійної задачі геомеханіки обґрунтовано теоретичними викладками, підкріплено та проілюстровано даними числового розрахунку. Територія будівельного майданчика складається із відкладень супісі, піску, глини (рис. 2). В розрахунок взято середньозважені значення їх восьми фізико-механічних показників ($E, \nu, \rho, \rho^{\min}, \rho^{\max}, c, \varphi, p_0$). Ґрунтові води залягають на глибині 7,7 м.

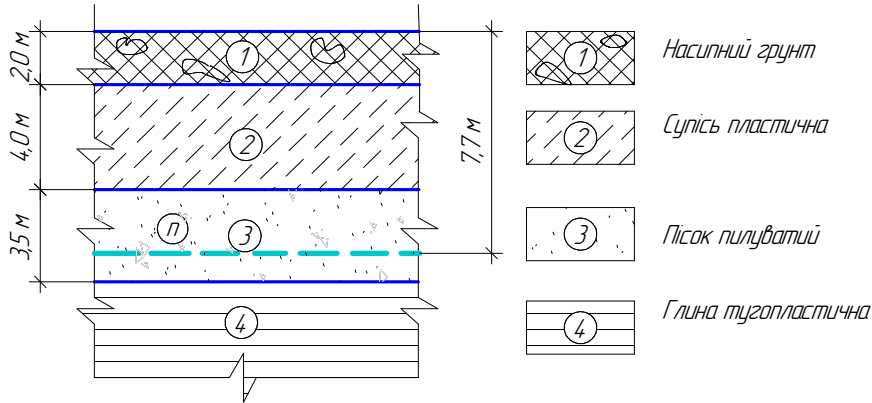


Рисунок 2 – Геологічний розріз

Визначальні співвідношення

Для обґрунтування проектних рішень несучої спроможності фундаментної плити використано числовий МГЕ. Проектування поведінки ґрунтів під навантаженням пов’язане з необхідністю аналізу складних фізичних процесів ущільнення та переупакування частинок ґрунту, математичним описанням цих процесів є неголомомні диференційні рівняння в частинних похідних. В роботі розв’язок заснований на основі інтегрального рівняння числового МГЕ [1], який є синтезом статичних, геометричних, фізичних рівнянь:

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

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;

u, p – шукані вектори переміщень та напружень на границі фундаментної конструкції; інтеграл по області Ω (Ω – активна зона навколо фундаментної ґрунтової основи) включає вектор пластичних деформацій ε_p ; Γ – границя дослідного об’єкта; u^*, p^* – сингулярні фундаментальні рішення Р. Міндліна, що відповідають одиничним взбурюючим впливам в півпросторі [1].

МГЕ дає можливість розчленувати розрахункову систему рівнянь на основі кожного окремого граничного елемента, що дуже зручно в реалізації і є особливістю методу. В роботі використана кусочно-лінійна апроксимація граничних елементів.

В якості ядер (фундаментальних розв’язків) в МГЕ використано рішення Р. Міндліна для півплощини. Оскільки фундаментальне рішення задовольняє граничним умовам на вільній від напружень поверхні півпростору потрібно дискретизувати лише граничну поверхню стикання фундаментної конструкції та ґрунту.

Для отримання рішення поставленої геотехнічної задачі проводилась дискретизація границі контактної області плитного фундаменту товщиною 0,8 м граничними лінійними елементами. Інтенсивність шуканих на границі функцій (напружень) приймалась постійною в межах граничного елемента (ГЕ). Активна зона навколо фундаментної конструкції дискретизувалась трикутними осередками.

В прийнятій моделі ґрунт розглядався як пружно-пластичне середовище що підкоряється неасоційованому закону пластичної течії (2), тобто в дограничному стані ґрунт вважається лінійно-деформованим середовищем, який переходить при подальшому навантаженні в граничний (пластичний) стан в залежності від критерію текучості Мізеса-Шлейхера-Боткіна [2, 3], рис. 3.

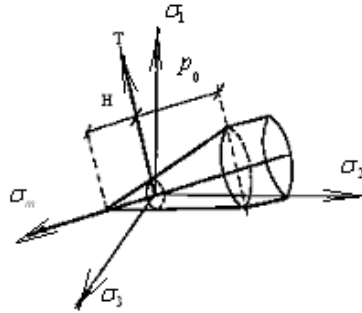


Рисунок 3 – Модифікований критерій пластичності Мізеса-Шлейхера-Боткіна в координатах головних напружень

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

Розрахунок проводився з використанням покрокового навантаження з залученням методу пружних рішень Іллюшина [3]. Стан поверхні навантаження f в використані в роботі теорії пластичності змінювався в залежності від функцій тензора напружень T_σ та тензора деформацій T_ε . В пружній області роботи ґрунту ($f(\sigma_{ij}) < 0$) прирости пружних деформацій $d\varepsilon_{ij}^e$ визначались із закону Гука.

Приріст повних деформацій ґрунту складався із суми пружних та пластичних приростів:

$$d\varepsilon_{ij} = d\varepsilon_{ij}^e + d\varepsilon_{ij}^p \quad (3)$$

Для визначення приростів деформацій пластичного відгуку ґрунтів використано неасоційований закон пластичної течії (2) та до основних фізико-механічних характеристик ґрунту додався коефіцієнт дилатансії $\Lambda = \frac{dV}{d\gamma}$ – швидкість деформування ґрунту в граничному стані.

Відмічений вперше О. Рейнольдсом в 1885 р. ефект дилатансії (зміна об'єму, що супутня зсувним деформаціям) характерний для незворотнього деформування ґрунтів.

Аналітичне визначення умов приходу граничного НДС базувалось на залежності граничного опору зсуву на октаедричних площадках від величини діючих напружень на них $\tau_{окт} = f(\sigma_{окт})$, тобто використано октаедричну теорію міцності Мізеса-Шлейхера-Боткіна [2,3]:

$$\begin{cases} f = T + \sigma_{окт} \cdot tg\psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_{окт} \leq p_0 \\ f = T + \rho_0 \cdot tg\psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_{окт} > p_0 \end{cases}, \quad (4)$$

де T – інтенсивність дотичних напружень (інтенсивність девіатора напруг), $\sigma_{окт}$ – гідростатичний тиск; ψ – граничний кут тертя на октаедричній площині, аналогічний куту внутрішнього тертя, τ_s – значення граничних напружень на октаедричній площині при $\sigma_m = 0$; p_0 – величина гідростатичного тиску на девіаторній площині, коли ґрунт працює як суцільне середовище, межа пластичної стисливості [2] чи максимальний гідростатичний тиск (межа переходу від конуса до циліндра в теорії Мізеса-Шлейхера-Боткіна, рис. 3).

В якості додаткової умови до неасоційованого закону пластичної течії (2) замість вимоги ортогональності вектора пластичних деформацій $d\varepsilon_{ij}^p$ до поверхні навантаження f використано дилатансійну теорію ґрунтового середовища Ніколаєвського В. М. - Бойка І. П.:

$$d\varepsilon_{шар}^p = \Lambda \cdot d\gamma. \quad (5)$$

де $d\varepsilon_{шар}^p$ – приріст непружних змін об'єму, що супутні зсуву;

$d\gamma$ – приріст інтенсивності зсуву.

Результати розрахунку НДС фундаментної плити подано на рис. 4. При вазі споруди біля 27000 кН осідання складає 5,2 см, що менше допустимого нормативного 10 см.

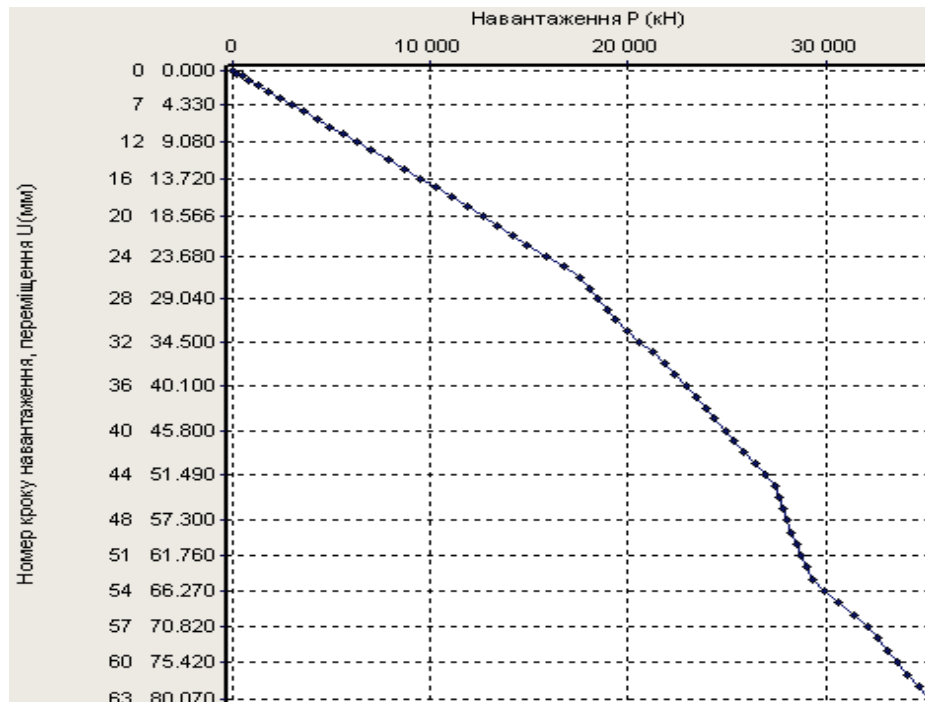


Рисунок 4 – Графік залежності «навантаження-осідання» для роботи фундаментної плити під навантаженням

Висновки

- Розвиток наукових основ розрахунку дисперсного ґрунту з використанням пружно-пластичної дилатансійної моделі – актуальний напрям сучасного фундаментобудування.
- Вирішення нелінійної задачі прогнозування несучої спроможності фундаментної плити має як наукове так і прикладне значення та тісно пов'язане з аналізом НДС ґрунту.
- Плитні фундаменти дозволяють забезпечити для будівель, що на них споруджуються, допустимі значення осідань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бреббиа К, Теллес Ж, Вроубел Л. Методы граничных элементов. Москва: Мир, 1987.
2. Бойко И.П. Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упругопластическом основании / И. П. Бойко. Сб. КИСИ. «Основания и фундаменты». – 1985. - №18, С. 11-18.
3. Моргун А. С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів / А. С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108 с.

REFERENCES

1. Brebbia K, Telles Zh, Vroubel L. Metody hranychnykh elementov. Moskva: Myr, 1987.
2. Boiko Y. P. Teoreticheskiye osnovy proektyrovaniya svainykh fundamentov na uprugoplastycheskom osnovanyu / Y. P. Boiko. Sb. KYSY. «Osnovaniya y fundamenti». – 1985. - №18, S. 11-18.
3. Morhun A. S. Teoriia plastychnoi techii v mekhanitsi gruntiv./ A. S. Morhun – Vinnytsia, VNTU. – 2013 – 108s.

Моргун Алла Серафимівна – д.т.н., професор, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету.

Alla@morgun.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4701-339x>.

Роїк Богдан Максимович – магістрант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету.

roicb18m@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8525-9502>.

А. С. Моргун

Б. М. Роїк

УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА ПО МГЭ

Винницкий национальный технический университет

Научно-техническая помощь проектировщикам сооружений в сложных гидрогеологических условиях строительства требует решения задач обеспечения их эксплуатационной надежности, максимальной эффективности капитальных вложений, совершенствования методов их расчета. Эта задача является актуальным вопросом геотехники.

Чтобы надежно проектировать необходимо знать истинную несущую способность фундаментной конструкции. Отсутствие этих данных вынуждает проектировщика при расчетах вводить через мерные запасы прочности, ведет к необоснованному удорожанию сооружения, проектируется.

В работе по численным методом граничных элементов (МГЭ) с позиций механики дисперсного упруго-пластического среды изложены представления прогнозирования несущей способности фундаментной плиты 16-ти этажного жилого здания.

Ключевые слова: плитный фундамент, напряженно-деформированное состояние (НДС), дисперсия, несущая способность, метод граничных элементов (МГЭ).

Моргун Алла Серафимовна – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительства, городского хозяйства и архитектуры Винницкого национального технического университета.

alla@morgun.com.ua <https://orcid.org/0000-0002-4701-339x>.

Роїк Богдан Максимович – магістрант кафедри строительства, городского хозяйства и архитектуры Винницкого национального технического университета.

A. Morgun

B. Roik

ELASTIC-PLASTIC DEFORMATION OF SOIL BASE OF PLATE BASE FOR IGE

Vinnitsa National Technical University

Scientific and technical assistance to designers of structures in complex hydrogeological conditions of construction requires solving the problems of ensuring their operational reliability, maximizing the efficiency of capital investments, improving the methods of their calculation. This task is a topical issue in geotechnics.

In order to design reliably, you need to know the actual load-bearing capacity of the foundation structure. The lack of this data causes the designer to enter in the calculations due to the measured strength reserves, which leads to unreasonable price increase of the projected structure.

In the work on the numerical method of boundary elements (MGE) from the standpoint of mechanics of dispersed elastic-plastic medium, the presentation of the prediction of the bearing capacity of the base plate of a 16-storey residential building is presented.

Keywords: slab foundation, stress-strain state (VAT), dispersion, load-bearing capacity, boundary element method (MGE).

Morgun Alla – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture of Vinnitsa National Technical University.

alla@morgun.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4701-339x>.

Roik Bogdan – Master's Degree in Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnitsa National Technical University.