

А.С. МОРГУН, Д.В. ЗАПИСОВ, А.В. КОЛЕСНИК

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ФУНДАМЕНТІВ ВИКОРИСТОВУЮЧИ МЕТОД ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Питання реконструкції будівель є актуальним питанням на теперішній час, розглянемо підхід до прогнозування технічного стану та реконструкції фундаментів із використанням методу граничних елементів (МГЕ). Метод дозволяє точно моделювати напружено-деформований стан ґрунтів і конструктивних елементів фундаменту, що особливо важливо при проектуванні реконструктивних заходів для існуючих споруд. Наведено результати числового моделювання, що демонструють ефективність МГЕ при оцінці змін у несучій здатності фундаментів після їх підсилення або зміни навантажень. Результати дослідження можуть бути корисними інженерам-проектувальникам, науковцям і фахівцям з експлуатації будівельних конструкцій.

Ключові слова: напружено-деформований стан, підсилення фундаментів, числовий метод граничних елементів.

Abstract. The issue of reconstruction of buildings is a topical issue, and we will consider an approach to predicting the technical condition and reconstruction of foundations using the boundary element method (BEM). The method allows to accurately model the stress-strain state of soils and structural elements of the foundation, which is especially important when designing reconstruction measures for existing structures. Numerical modelling results are presented that demonstrate the effectiveness of the FEM in assessing changes in the bearing capacity of foundations after their reinforcement or change in loads. The results of the study can be useful for design engineers, scientists and specialists in the operation of building structures.

Keywords: stress-strain state, foundation reinforcement, numerical boundary element method.

Для більшості дисперсних ґрунтів характерна нелінійна залежність між напругою та деформацією. Задачі, в яких у різних ділянках масиву ґрунту проявляються як граничні, так і дограничні стани, зазвичай вирішуються за допомогою чисельних методів.

Чисельні методи передбачають розв'язання математичних задач у числовій формі замість аналітичного вигляду функцій. Це означає, що як вхідні дані, так і результати розв'язку подаються у вигляді чисел.

Такі методи дозволяють уникнути спрощених припущень, що застосовуються в аналітичних підходах. Завдяки цьому можна моделювати складні тривимірні системи з урахуванням нелінійної поведінки матеріалів, поступового навантаження, часу виникнення деформацій та інших чинників, притаманних задачам механіки ґрунтів.

Метод граничних елементів (МГЕ) є чисельним способом розв'язання крайових задач, що полягає у зведенні їх до інтегрального рівняння, яке задається на межі обчислюваної області. Основною перевагою цього методу є точне задоволення початкового диференціального рівняння в межах досліджуваної області.

Особливо ефективним МГЕ є для задач з нескінченними межами, що часто зустрічаються в ґрунтомеханіці, оскільки він дозволяє легко враховувати такі умови.

Метод граничних елементів — це підхід до розв'язання крайових задач, у якому задача перетворюється на інтегральне рівняння, задане лише на межі розрахункової області. Головною перевагою цього методу є те, що він точно задовольняє початкове диференціальне рівняння в середині області.

У задачах з нескінченними межами МГЕ є особливо ефективним, оскільки дозволяє легко враховувати такі умови, що часто трапляються в ґрунтовій механіці. Щоб розв'язати задачу, необхідно побудувати математичну модель — систему, яка відтворює ключові властивості об'єкта дослідження. Такі моделі слугують для аналізу поведінки та характеристик об'єкта. Для їх побудови потрібен достатній обсяг попередньої інформації про досліджуваний об'єкт.

Порівняння результатів моделювання з реальною поведінкою об'єкта дозволяє оцінити точність моделі та визначити межі її придатності.

У даній роботі застосовано модель [1] для визначення несучої здатності буроін'єкційних паль, яка забезпечує науково обґрунтований і комплексний підхід до постановки та вирішення практичного завдання підвищення ефективності використання властивостей ґрунтових масивів шляхом урахування їх поведінки на нелінійній стадії деформування. Використання потенціалу пружно-пластичної зони дозволяє збільшити навантаження на фундамент.

Для розв'язання нелінійної задачі механіки ґрунтів у цій моделі використовується квазілінійна постановка із залученням методу пружних розв'язків, розробленого О. А. Іллюшиним [2]. Допущення про малі переміщення та нескінченно малі деформації дають змогу застосовувати лінійну теорію, що, у свою чергу, обґрунтовує можливість використання принципу суперпозиції.

На сьогоднішній день найбільш точним та сучасним підходом є використання рішень пружно-пластичної задачі механіки суцільних середовищ, а також дилатансійної теорії дисперсного ґрунту [2,3], яка достовірно описує реальні особливості деформування ґрунтів.

У дослідженні розглядається фундамент розміром 1×1 м, заглиблений на 1,4 м, який було підсилено чотирма буроін'єкційними палями завдовжки 3,0 м. Фізико-механічні характеристики ґрунту:

$$\rho = 1.6 \text{ т/м}^3, \rho_{\min} = 1.51 \text{ т/м}^3, \rho_{\max} = 2.2 \text{ г/см}^3, e = 0.7, E = 11,2 \text{ МПа}, \\ \varphi = 22^\circ, c = 14 \text{ КПа}, \vartheta = 0,33$$

Графік експериментальних даних просідання фундаменту вказаний на рис. 1.

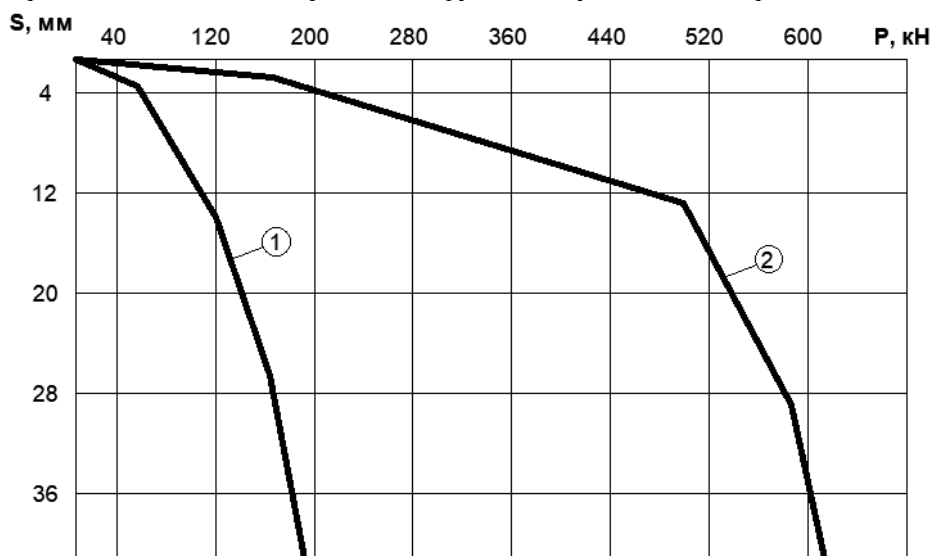


Рис. 1 – Графік експериментальних досліджень фундаменту на натуральній основі:
1- До підсилення фундаменту, 2 – після підсилення фундаменту

При розгляді нелінійної задачі інтегральне рівняння, отримане К. Бреббія [1], набуває вигляду:

$$c_{ij} \cdot u_j + \int_{\Gamma} p_{ij}^* u_j d\Gamma = \int_{\Gamma} u_{ij}^* p_j d\Gamma + \int_{\Gamma} \sigma^* \varepsilon_j d\Omega,$$

де, u - заданий вектор переміщень на контактні границі фундаментної конструкції, p – шуканий вектор напружень на границі; u^*, p^*, σ - ядра граничного рівняння чи функції впливу МГЕ, це двоточкові функції.

Результати числового за МГЕ прогнозу роботи підсиленого фундаменту на рис.2.

Дані співставлень є задовільні, значення несучої спроможності як підсиленого, так і не підсиленого фундаментів згідно рис. 1 і рис. 2 практично співпадають.

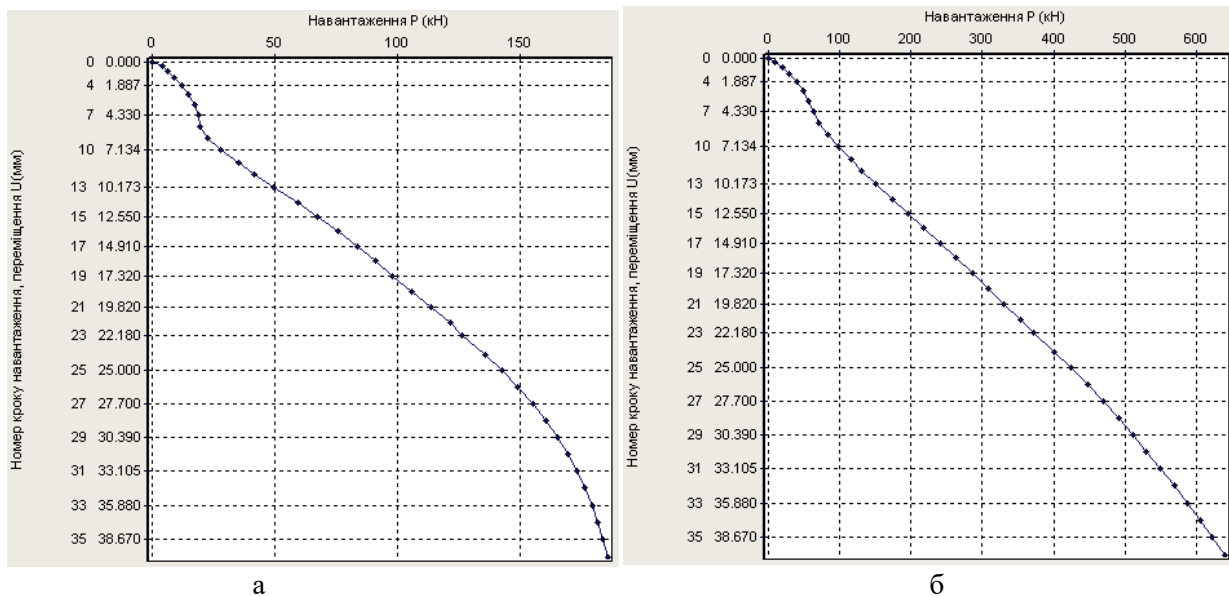


Рис. 2 – Графік «навантаження – осідання» результатів розрахунку за МГЕ,
а) фундаменту без підсилення, б) підсиленого буропі'єкційними палями за числовим МГЕ

За експериментальними дослідженнями при $S = 45$ мм несуча спроможність не підсиленого фундаменту склала $P=165$ кН, підсиленого – $P=560$ кН.

За числовими дослідженнями (МГЕ): при $S = 45$ мм несуча спроможність не підсиленого фундаменту склала $P=183$ кН, підсиленого – $P=574$ кН.

Таким чином, використана за числовим МГЕ нелінійна модель для визначення несучої спроможності підсиленого фундаменту спостерігається збільшення несучої спроможності більше ніж в три рази.

Висновки

Проведений аналіз результатів дослідження, використовуючи метод граничних елементів, підтвердив достовірність вибраної моделі. Підсилення буропі'єкційними палями є ефективним проектним рішенням підсилення фундаменту мілкого закладання і гарантує надійність експлуатації споруди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моргун А.С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів./А.С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108 С.
2. Бойко І.П. Теоретичні основи проектування пальових фундаментів на пружньо-пластичні основи / І.П. Бойко, Зб. КНУБА “Основи і фундаменти”. – 1985 – №18, С 11-18.
3. Ніколаєвський В.Н. Механіка пористих і тріщиноватих середовищ.1984.
4. Бреббія К., Теллес Ж., Вробел Л. Методи граничних елементів. 1987.

Відомості про авторів

Моргун Алла Серафимівна – д.т.н., професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morgunallaS@gmail.com.

Записов Дмитро Васильович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dzapisov@gmail.com.

Колесник Андрій Вікторович – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: andrey.enginer@gmail.com.