

БУДІВНИЦТВО

УДК 519.642:624.044:624.15

А. С. Моргун¹
О. В. Франчук¹
О. С. Підгорний¹

ЧИСЛОВА ДІАГНОСТИКА ПОВЕДІНКИ КІЛЬЦЕВОГО ФУНДАМЕНТУ СПОРУДИ БАШТОВОГО ТИПУ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

¹Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Розглядається кількісне оцінювання механічних процесів в ґрунтових основах кільцевих фундаментів, що виникають під впливом антропогенних факторів будівельної діяльності людини.

Ключові слова: метод граничних елементів, кільцевий фундамент.

Вступ

Характерною тенденцією для сучасної агропромислової діяльності України є зростання необхідності будівництва як гігантських зернових комплексів (потужністю зберігання 100...300 тис. тон зерна в рік), так і фермерських господарств (потужністю зберігання до 25...30 тис. тонн зерна в рік). Фундаментами для бункерів зберігання та сушіння зерна зазвичай використовуються кільцеві фундаменти.

Тому перед інженером-проектувальником стоїть важлива задача — розроблення та вдосконалення моделей розрахунку кільцевих фундаментів та прогнозування осідань основ, від яких залежить надійність та економічність споруди. Практика проектування таких споруд базується на спрощених розрахункових передумовах.

Знаходження оптимального рішення щодо рівномірнішого осідання фундаментної конструкції можна досягти за рахунок зміни положення зовнішнього навантаження на фундамент чи шляхом цілеспрямованої зміни форми підошви. В роботі досліджено за числовим методом граничних елементів (МГЕ) процес осідання кільцевого фундаменту сушарки. Розглянуто змішану задачу теорії пружності та пластичності з використанням неасоційованого закону пластичної течії. Такі фундаменти є раціональними зі значеннями модуля деформації ґрунтової основи $E \geq 10$ МПа, оскільки вони здешевлюють фундаментну конструкцію у порівнянні із суцільним фундаментом кругової форми.

Постановка задачі, визначальні співвідношення

Необхідність розв'язання задач, пов'язаних з оцінкою міцності і деформативності ґрунтів, диктується вимогами інженерної практики.

Деформативні властивості фундаменту, верхньої споруди баштового типу і ґрунтової основи мають різний рівень. Специфікою таких споруд (елеватори, димові труби, водонапірні башти, масивні мостові опори) є надмірно висока жорсткість надфундаментної частини, рис. 1. Вони не згинаються і дають рівномірну осадку як єдиний масив. Умови роботи таких споруд суттєво залежать від ґрунтової основи.

На теперішній час фундаменти кільцевих споруд найчастіше проектуються у вигляді фундаментів мілко закладання.

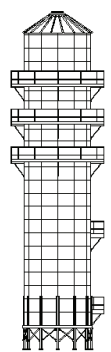


Рис. 1. Сушарка баштового типу

В цій роботі пропонуються більш точні передумови для описання поведінки кільцевих фундаментів з урахуванням спільної деформації фундаменту і нелінійних деформацій основи за складних інженерно-геологічних умов.

Розрахунки осідання кільцевого фундаменту (рис. 2) проведено із залученням теорії пластичної течії. В якості критерію текучості використано поверхню навантаження Мізеса–Шлейхера–Боткіна.

Оскільки за міцнісними характеристиками ґрунту формуються величини безпечного навантаження та граничної несучої спроможності ґрунтів, то в моделі використано дев'ять інженерно-геологічних характеристик ґрунту, визначення яких забезпечується експериментальними стандартними тривісними дослідженнями зразків ґрунту: E , ν , ρ , ρ^{\min} , ρ^{\max} , e , c , ϕ , ρ_0 .

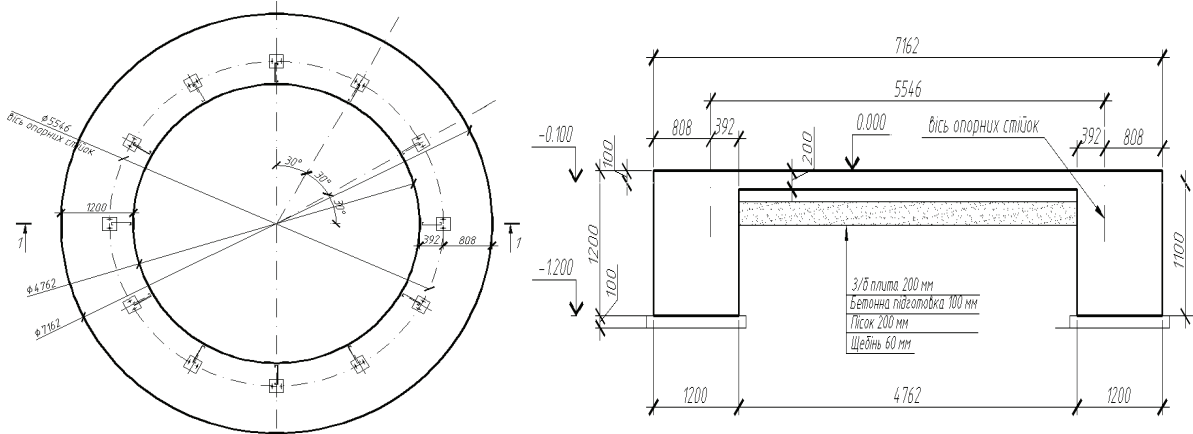


Рис. 2. Геометричні характеристики кільцевого фундаменту

З урахуванням реального просторового деформування ґрунту, площадки зсуву в розрахунках взято октаедричними, тобто площадки зсуву реалізуються по октаедричних площинах.

В дисперсних тілах, якими є ґрунти, відносно зміщення твердих частинок може здійснюватися лише в умовах одночасної зміни об'єму і форми. Цей ефект перехресного впливу інваріантів T_σ і T_ϵ один на другий (одночасність змінення об'єму і зсуву) названий в 1885 р. О. Рейнольдсом дилатансією.

В розробленій математичній моделі з метою врахування впливу на пластичні деформації ґрунту дисипативних девіаторних та консервативних шарових складових тензора напружень ці частини в рівняннях стану розкладено:

— формозміна визначалась за неасоційованим законом пластичної течії;

— об'ємні деформації визначались за дилатансійною теорією ґрунтового середовища В. М. Ніколаєвського [1], І. П. Бойка [2] з метою корегування властивості ґрунтам неспіввідності T_σ і T_ϵ . Сумарні пластичні деформації додавались для кожного кроку навантаження.

Матриця впливу МГЕ компонувалась згідно з аналітичними рішеннями Р. Міндліна. Оскільки ці рішення двоточкові (точка ξ — точка прикладання, $P = 1$ та точка нагляду В), точка ξ переміщувалась по граничних елементах як зовнішньої та внутрішньої бокової поверхонь, так і підшви кільцевого фундаменту. Матриця впливу МГЕ з погляду будівельної механіки є матрицею піддатливості, а обернена величина — це матриця жорсткості.

Таким чином, таке компонування матриці впливу МГЕ дає можливість визначення жорсткості ґрунтової основи кільцевого фундаменту по бокових поверхнях та підшві з урахуванням реальних властивостей ґрунтової основи.

Кількісною характеристикою пружної характеристики ґрунту є модуль деформації ґрунту E . Характеристика пластичних деформацій ϵ_{ij}^p не має показника, аналогічного модулю деформацій E . Після появи пластичних деформацій залежність між σ та ϵ описувались в моделі згідно з неасоційованим законом теорії пластичної течії [1]:

$$d\epsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}}. \quad (1)$$

Найважливішою формою конкретизації залежності (1) є введення поняття поверхні навантаження

$$F(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}^p, T, \chi) = 0, \quad (2)$$

в основу побудови якої покладено принцип максимуму Мізеса

$$\sigma_{ij} d\varepsilon_{ij}^p > \sigma_{ij}^* \cdot d\varepsilon_{ij}^p, \quad (3)$$

де σ_{ij} — дійсне значення компонента напруження, що відповідає цьому полю ε_{ij}^p ; σ_{ij}^* — компоненти будь-якого допустимого функцією навантаження напруженого стану

$$F(\sigma_{ij}^*, \varepsilon_{ij}^*, T, \chi) = 0. \quad (4)$$

Функція навантаження відіграє роль потенціалів для приростів пластичних деформацій.

Розв'язок за МГЕ у моделюванні непружної поведінки ґрунтової основи та його матричний вигляд такий:

$$\begin{aligned} cu + \int_{\Sigma} p^* \cdot U d\Gamma &= \int_{\Sigma} U^* p d\Gamma + \int_{\Omega} \sigma^* \varepsilon^p d\Omega; \\ HU = F &= A\Upsilon + D\bar{E}^p, \end{aligned} \quad (5)$$

де U^* , p^* , σ^* — вагові функції МГЕ (розв'язки Р. Міндліна для переміщень, напружень, похідних від напружень для півпростору); Υ , p — шуканий вектор напружень, U — заданий вектор переміщень на границі.

Для числової реалізації рівняння (5) бокові поверхні, підошва кільцевого фундаменту та активна зона основи дискретизувались. Інтегрування проводилось з використанням формул Гаусса.

Знаходження коефіцієнтів матриці D (матриці інтегрування внутрішніх осередків) реалізовано із залученням числових процедур Хамера

$$D = \int_{\Omega} \sigma^* \Phi^m d\Omega = \sum_k (\sigma^* \cdot \Phi) k w_k I_k, \quad (6)$$

де w_k — вагові коефіцієнти при апроксимації трикутних осередків; Φ_k — інтерполюючі функції [4]; σ^* — матриця додаткових напружень, зумовлених дією одиничних сил, прикладених всередині півплощини (розв'язки Р. Міндліна);

I_k — якобіан перетворення системи координат, що дозволяє подавати інтерполяційні функції за допомогою системи однорідних координат η_1, η_2 [4].

До сучасних розрахунків ставляться вимоги отримання повної інформації про роботу конструкції на значному етапі деформування, аж до етапу руйнування. На рис. 3 показано отриманий графік «навантаження-осідання» як фізичний процес зміни НДС кільцевої фундаментної конструкції.

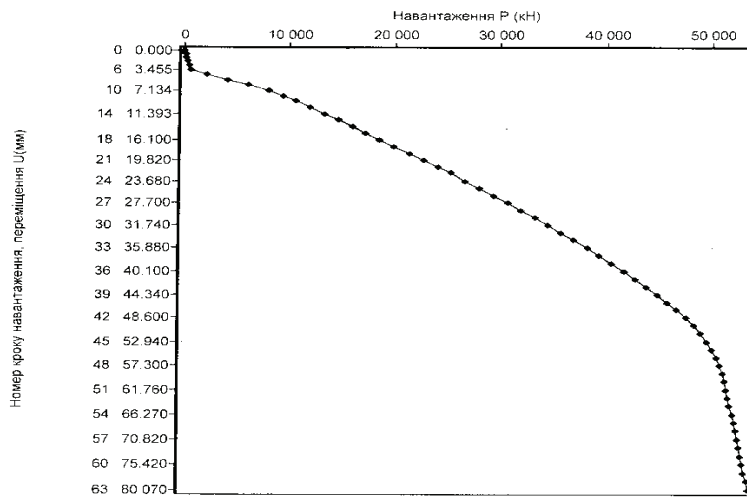


Рис. 3. Графік «навантаження-осідання» кільцевої фундаментної конструкції

Висновки

1. Широке використання ЕОМ в інженерних розрахунках вимагає перегляду існуючих методик розрахунку. Якщо раніше основна задача полягала у створенні інженерних методів розрахунку на основі спрощувальних передумов, то сьогодні вимагає математичних моделей, які найповніше відтворюють поведінку як конструкції, так і ґрунтової основи. Найзручнішим для розв'язання таких задач є метод дискретної теорії лінійних просторів: матричне числення, метод скінченних елементів, метод граничних елементів.

2. Використання в роботі методу граничних елементів дало можливість достовірно спрогнозувати геотехнічну ситуацію поведінки кільцевого фундаменту елеватора.

3. Суть запропонованого методу розрахунку кільцевого фундаменту полягає в передачі тиску від споруди на основу з урахуванням розподілу напружень по кільцю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Николаевский В. Н. Современные проблемы механики грунтов / В. Н. Николаевский // Определяющие законы механики грунтов. — М. : Стройиздат, 1975. — С. 210—227.
2. Бойко І. П. Наружено-деформований стан ґрунтового масиву при побудові нових фундаментів поблизу існуючих будинків / І. П. Бойко, В. О. Сахаров // Основи і фундаменти : міжвідомчий наук.-техн. зб. — К. : КНУБА. — 2004. — Вип. 28. — С. 3—10.
3. Моргун А. С. Метод граничних елементів в розрахунках несучої спроможності кільцевих та круглих в плані фундаментних конструкцій / А. С. Моргун, О. В. Франчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 5. — С. 11—14.
4. Бреббия К. Методы граничных элементов / К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел. — М. : Мир, 1987. — 525 с.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.03.2015

Моргун Алла Серафимівна — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва;

Франчук Ольга Василівна — аспірантка кафедри промислового та цивільного будівництва, e-mail: franchuk.bud@gmail.com;

Підгорний Олексій Сергійович — студент факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання. Вінницький національний технічний університет, Вінниця

A. S. Morgun¹
O. V. Franchuk¹
O. S. Podgorny¹

Numerical diagnostics of the conduct of the circular foundation of the tower type building according to the method of boundary elements

¹Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

The work deals with the quantitative estimation of mechanic processes in the soil grounds of circular foundations arising up under the influence of anthropogenic factors of building activity.

Keywords: method of boundary elements, circular foundation.

Morgun Alla S. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Industrial and Civil Engineering;

Franchuk Olga V. — Post-Graduate Student of the Chair of Industrial and Civil Construction, e-mail: franchuk.bud@gmail.com;

Podgorny Oleksii S. — Student of the Faculty of Building, Heating and Gas Supply

A. S. Morgun¹
O. V. Franchuk¹
O. S. Подгорный¹

Числовая диагностика поведения кольцевого фундамента сооружения башенного типа по методу граничных элементов

¹Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Рассмотрена количественная оценка механических процессов в грунтовых основаниях кольцевых фундаментах, возникающих под воздействием антропогенных факторов строительной деятельности человека.

Ключевые слова: метод граничных элементов, кольцевой фундамент.

Моргун Алла Серафимовна — д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой промышленного и гражданского строительства;

Франчук Ольга Васильевна — аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства e-mail: franchuk.bud@gmail.com;

Подгорный Алексей Сергеевич — студент факультета строительства теплоэнергетики и газоснабжения