

УДК 624.131

РОЗРАХУНОК КРУГЛОЇ ФУНДАМЕНТНОЇ ПЛИТИ В УМОВАХ ТЕРИТОРІЙ З ПІДЗЕМНИМИ ВИРОБКАМИ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ РІЗНИЦЬ

РАСЧЁТ КРУГЛОЙ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ В УСЛОВИЯХ ТЕРРИТОРИЙ С ПОДЗЕМНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

THE ROUND FOUNDATION SLAB CALCULATION ON UNDERMINED TERRITORIES WITH FINITE DIFFERENCE METHOD

Тімченко Р.О., д.т.н., проф. (Криворізький національний університет),
Крішко Д.А., к.т.н., ст. викл. (Криворізький національний університет),
Богатинський А.В., асп. (Криворізький національний університет).

Тимченко Р.А., д.т.н. проф. (Криворожский национальный университет),
Кришко Д.А., к.т.н., ст. преп. (Криворізький національний університет),
Богатынский А.В., асп. (Криворізький національний університет).

Timchenko R.O., doctor of technical sciences, professor (Kryvyi Rih national university),
Krishko D.A., candidate of technical sciences, head teacher (Kryvyi Rih national university),
Bogatynsky A.V., post graduate student (Kryvyi Rih national university).

Показаний окремий випадок розрахунку круглої фундаментної плити на територіях з радіусоподібними викривленнями земної поверхні від дії підземних підробіток.

Показан частный случай расчёта круглой фундаментной плиты на территориях с радиусообразными искривлениями земной поверхности от действия подземных выработок.

Particular case of round foundation slab calculation on undermined territories with radius curvature is considered in this paper.

Ключові слова:

Розрахунок, викривлення, фундамент, переміщення.

Расчёт, искривление, фундамент, перемещение.

Calculation, curvature, foundation, displacement.

Вступ. Фундаментна залізобетонна плита є найважливішим елементом промислового, цивільного, гідротехнічного та інших видів будівництва. В якості прикладів можуть служити суцільні фундаментні плити під багатопверхові каркасні та безкаркасні будівлі; фундаменти копрів, промислових етажерок, атомних реакторів, елеваторів, димових труб, днища резервуарів і т.д. Фундаментні плити найдоцільніші при будівництві в складних інженерно-геологічних умовах та при великих навантаженнях від горішньої споруди.

В складних інженерно-геологічних умовах будівництва навантаження з боку основи на фундаментну плиту передаються, як правило, в період експлуатації об'єкту. Це призводить до розвантаження окремих ділянок плити та довантаження інших ділянок. Навантаження, таким чином, має явно складний характер, що повинно враховуватись при визначенні напружено-деформованого стану фундаментної плити, між іншим, конструкції фундаментних плит, що б враховували спільні непружні деформації залізобетону та ґрунту, в наш час відсутні [1].

Для реалізації наявних резервів несучої здатності фундаментних плит та підвищення їх економічності при збереженні необхідної надійності, необхідне всебічне врахування характерних особливостей спільної роботи фундаментної плити та нерівномірно-деформованої основи [1]. Цю мету, безумовно, можливо досягти розрахунком, що б враховував нелінійні процеси в ґрунті та фундаменті.

Аналіз останніх досліджень. Розробці методики розрахунку плитних фундаментів в умовах нерівномірно-деформованої основи приділялася увага в роботах С.М. Клепікова, О.О. Петракова, В.І. Обозова, Р.О. Тімченка, Д.А. Крішка та ін. Зокрема розрахунок круглих фундаментів, які використовуються в конструкціях баштових споруд (димових труб, водонапірних башт, силосних корпусів), в таких умовах розглядався Клепіковим та Тімченком [1, 2].

Мета дослідження. Близько 90% території України мають складні інженерно-геологічні умови. 5% з них – території з підземними виробками, де спостерігаються різноманітні форми осідання ґрунтової поверхні в результаті виробки корисних копалин. Зведення плитних фундаментів саме на таких територіях є актуальним питанням для міста Кривий Ріг.

В даній роботі розглядається окремий випадок розрахунку круглої фундаментної плити в умовах піддроблюваних територій.

Методика досліджень. Розрахунок плитних фундаментів зводиться до визначення прогинів плити, а також згинаючих моментів та внутрішніх сил.

Розглянемо круглу фундаментну плиту діаметром d та висотою h , яка вироблена з матеріалу з модулем пружності E та коефіцієнтом Пуассона ν . На плиту діє вертикальне навантаження інтенсивністю q . На відстані C від центру плити знаходиться проекція центру викривлення земної поверхні O_1

(рис. 1, 2). Радіус викривлення – R. Ґрунт основи описується пружною моделлю.

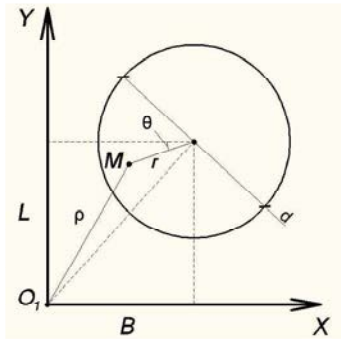


Рис. 1. Кругла фундаментна плита в плані.

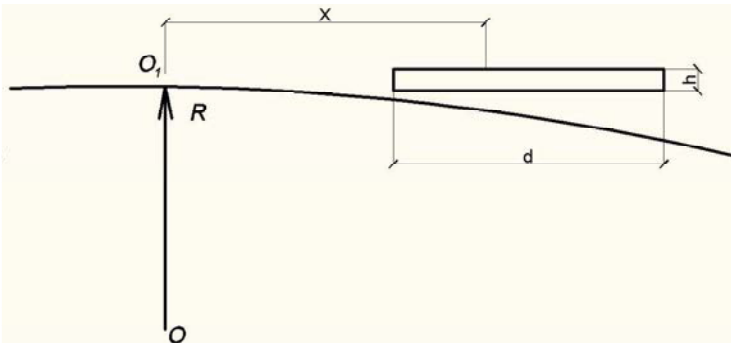


Рис. 2. Викривлення земної поверхні від підробітки (R – радіус кривизни)

Вигин круглої плити описується наступним бігармонічним рівнянням [3]:

$$\nabla^2 (D \nabla^2 Z) + KZ = q, \quad (1)$$

де ∇^2 – оператор Лапласа, який в полярних координатах записується наступним чином:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2};$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \text{ – циліндрична жорсткість плити;}$$

Z – вертикальне переміщення точок плити відносно початкового положення;

$K = p_{сер}/S$ – коефіцієнт жорсткості основи;

ν – коефіцієнт Пуассона;

$p_{сер}$ – середній тиск під подошвою фундаменту;

S – осідання поверхні основи від навантаження.

Плита лежить на пружній основі та вдавлюється під дією навантаження. При викривленні основи виникають додаткові вертикальні переміщення плити, що залежать від величини та характеру викривлення (рис. 3).



Рис. 3. Переміщення точок плити.

Повні переміщення точок плити можна представити у вигляді суми [4]:

$$Z(r, \theta) = w(r, \theta) + F(r, \theta), \quad (2)$$

де $w(r, \theta)$ – вертикальні переміщення точок плити від дії навантаження на плиту;

$F(r, \theta)$ – вертикальні переміщення плити від викривлення поверхні землі.

Тоді диференціальне рівняння вигину плити (1) на нерівномірно-деформованій основі можна записати у вигляді:

$$\nabla^2(D\nabla^2 w) + Kw = q - \nabla^2(D\nabla^2 F). \quad (3)$$

Розглянемо частини цього рівняння окремо.

За [5] фундаменти баштових споруд на територіях з підземними виробками проектуються за жорсткою схемою. Осідання жорсткої плити на пружній основі з достатнім ступенем точності можна охарактеризувати рівномірним. З чого випливає:

$$\nabla^2 (D\nabla^2 w) = 0. \quad (4)$$

Згідно [5] розрахункове осідання будь-якої точки основи, що викликане кривизною земної поверхні (рис. 2) необхідно визначати за формулою:

$$F = n_k m_k \frac{X^2}{2R}, \quad (5)$$

де n_k та m_k – коефіцієнти перевантаження та умов роботи, що приймаються за відповідними таблицями ($n_k = 1,4$, $m_k = 1$);

R – очікуваний радіус викривлення земної поверхні;

X – відстань від точки, що розглядається до центру викривлення (рис. 2).

Розглянемо випадкову точку M (рис. 1). Вона має координати

$M(B - r_M \cos\theta; L - r_M \sin\theta)$. Тоді шукана відстань X визначиться як:

$$X = \rho = \sqrt{(B - r_M \cdot \cos \theta)^2 + (L - r_M \cdot \sin \theta)^2}$$

$$X = \sqrt{C^2 + r_M^2 - 2r_M(L \cdot \sin \theta + B \cdot \cos \theta)}$$

При цьому оператор Лапласа визначиться як:

$$\nabla^2 F = \nabla^2 \frac{n_k \rho^2}{2R} = n_k \nabla^2 \frac{C^2 + r_M^2 - 2r_M(L \cdot \sin \theta + B \cdot \cos \theta)}{2R} \quad (6)$$

$$\nabla^2 F = n_k \frac{2}{R} \text{ ма } \nabla^2 (D\nabla^2 F) = 0$$

Підставивши (4) та (6) в (3) отримаємо:

$$Kw = q. \quad (7)$$

Це рівняння співвідноситься з рівнянням коефіцієнту жорсткості з тією різницею, що визначає його як відношення навантаження на плиту та її осідання.

Таким чином повні переміщення точок плити знайдемо за формулою:

$$Z(r, \theta) = \frac{q}{K} + \frac{n_k \rho^2}{2R}, \quad (8)$$

Однак, слід відмітити, що це окремий випадок вирішення цього диференційного рівняння, справедливий при зазначених умовах та постійному коефіцієнту жорсткості основи під усіма точками фундаменту.

В загальному ж випадку рівняння (3) вирішується за допомогою методу скінчених різниць. Для цього на плиту наноситься радіальна сітка з кроками $\Delta r = d/2n$ в напрямку радіуса, та $\Delta \theta = 2\pi/m$ в напрямку кола (рис.4).

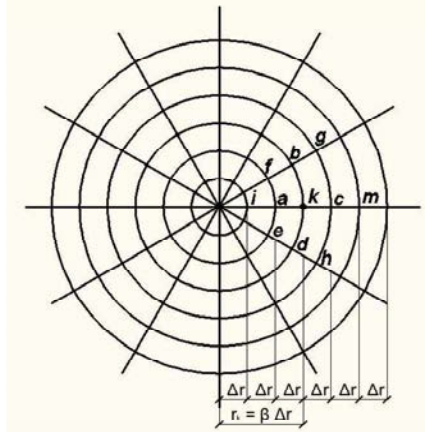


Рис. 4. Кругла фундаментна плита з радіальною сіткою.

Тоді рівняння для силових факторів довільної точки k запишуться у вигляді [3]:

$$(M_r)_k = -\frac{D}{\Delta r^2} \left[-2\left(1 + \frac{\nu}{\alpha^2}\right)Z_k + \left(1 - \frac{\nu}{2\beta}\right)Z_a + \left(1 + \frac{\nu}{2\beta}\right)Z_c + \frac{\nu}{\alpha^2}(Z_b + Z_d) \right];$$

$$(M_\theta)_k = -\frac{D}{\Delta r^2} \left[-2\left(\nu + \frac{1}{\alpha^2}\right)Z_k + \left(\nu + \frac{1}{2\beta}\right)Z_c + \left(\nu - \frac{1}{2\beta}\right)Z_a + \frac{1}{\alpha^2}(Z_b + Z_d) \right];$$

$$(M_{r\theta})_k = -\frac{(1-\nu)D}{2\Delta r\alpha} \left(\frac{Z_e - Z_f + Z_g - Z_h}{2} - \frac{Z_b - Z_d}{\beta} \right);$$

$$(Q_r)_k = -\frac{D}{\Delta r^3} \left[\left(-\frac{2}{\beta} + \frac{4}{\beta\alpha^2}\right)Z_k + \left(1 - \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta^2} + \frac{1}{\alpha^2}\right)(Z_a - Z_c) + \frac{2}{\beta\alpha^2}(Z_g + Z_h - 2Z_b - 2Z_d - Z_f - Z_e) - \frac{1}{2}(Z_m - Z_i) \right];$$

де $-\beta = r_i/\Delta r$; $\alpha = 2\beta\pi/m$.

В якості приклада розглянемо плиту діаметром 10 м та товщиною 2 м, яка лежить на пружній основі з коефіцієнтом жорсткості $K = 10$ МПа/м. Навантаження на плиту $q = 10$ кН/м – рівномірне. Жорсткість плити $D = 16$ ГН*м². Коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,15$. Визначити згинаючі моменти та поперечні сили.

Розрахунок силових факторів проводився за методом скінчених різниць за допомогою MS EXCEL. Епюри моментів та зусиль вісі паралельній вісі O_1X (див. рис. 1) показані на рис.5.

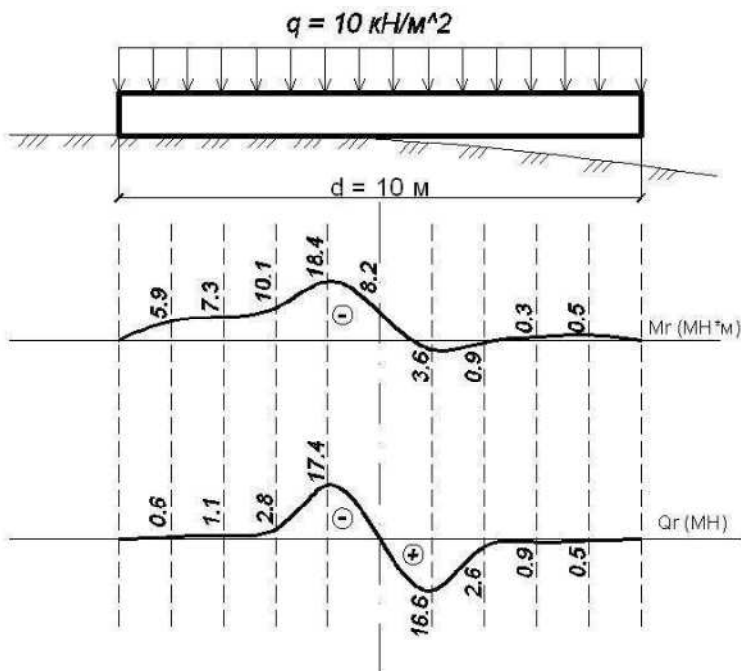


Рис. 5. Епюри згинаючих моментів та поперечних сил.

Висновок. З отриманих результатів видно, що додаткове викривлення земної поверхні суттєво впливає на напружено-деформований стан круглої плити, збільшуючи при цьому пікові навантаження на плиту. Для зменшення такого впливу необхідно застосовувати спеціальні конструкції фундаменту.

Даний приклад розрахунку є окремим випадком розрахунку, що враховує описані в статті припущення. В загальному випадку необхідно враховувати зміну коефіцієнту жорсткості основи для кожної розрахункової точки (змінний коефіцієнт жорсткості [2] більш точно описує напружено-деформований стан основи в складних інженерно-геологічних умовах), на що і буде націлена подальше робота.

1. Тимченко Р.А. Применение программ МКЭ для моделирования работы системы „основание – инженерное сооружение“ в условиях неравномерных деформаций основания / Р.А. Тимченко // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. пр. Вип. 21. – Кривий Ріг: КТУ, 2008. – С. 113-116. 2. Клепиков С.Н. Расчет конструкций на деформируемом основании / С.Н. Клепиков // – К.: НИИСК, 1996. – 204 с. 3. Варвак П.М., Варвак Л.П. Метод сеток в задачах расчёта строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1977. – 154 с. 4. Методика расчёта круглых плит на деформируемом основании. – К.: НИИСК, 1971. – 56 с. 5. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Часть III: Башенные, транспортные и заглубленные сооружения, трубопроводы // Донецкий ПромстройНИИпроект, НИИСК. – М.: Стройиздат, 1986. – 225 с.