

РОЗРАХУНОК КІЛЬЦЕВИХ ПЛИТ НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ ЗІ ЗМІННИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ПОСТЕЛІ

Асп. Кіріченко Д. О., асп. Кліменко О. М.,

кафедра будівельної механіки

Д.т.н., проф. Сур'янінов М. Г., д.ф-м.н., проф. Крутий Ю. С.

Одеська державна академія будівництва і архітектури

Актуальність дослідження. У теперішній час набуло поширення будівництво інженерних споруд круглої форми. До них відносяться телевізійні башти, димові та вентиляційні труби, радіорелейні башти, опорні башти для вітряних електростанцій, циліндричні резервуари. Фундаменти та днища таких споруд часто являють собою круглі та кільцеві пластини, створені на пружній основі зі змінним реактивним опором. Існують різні моделі пружних основ. Найбільш простою із них є модель Вінклера. Для балок на пружній основі ця модель дозволяє отримати точне рішення, але для плит такого рішення немає. Проблема ще більше ускладнюється, якщо пружна основа змінна. У дослідженні були використані наближені методи, переважно метод скінчених елементів. Однак добре відомо, що результати, отримані цим способом, у багатьох випадках є далекими від реальності, тому побудова моделі аналітичного рішення залишається актуальною.

Стан проблеми. Багато досліджень було проведено з теорії розрахунку круглих та кільцевих пластин на різних моделях пружних основ. Отримання точного розв'язку таких завдань пов'язані з математичними труднощами. У зв'язку з цим чисельні методи досі залишаються єдиним можливим засобом отримання прийнятних за точністю та тимчасовими витратами результатів при вирішенні практично важливих завдань.

Основні результати, отримані вченими різних країн за попередні два сторіччя в галузі розрахунку круглих та кільцевих пластин, були систематизовані К. Г. Чижевським [1]. Були приведені розрахунки навантажених кільцевих та круглих пластин на міцність, жорсткість, стійкість та вібраційні впливи.

Наприкінці минулого та напочатку нинішнього століття з'явилося рішення задачі статичної стійкості тришарової круглої пластини з симетричною структурою поперечного перерізу, що представлено у роботі [2].

У цьому дослідженні було отримано систему диференціальних рівнянь, що описують розглянуту пластину, і визначено критичні навантаження та форми втрати стійкості. Отримані результати порівнюються з даними скінчено-елементного аналізу.

Також було розроблено новий алгоритм розрахунку міцності на вигин залізобетонних круглих елементів без урахування осьової сили та запропоновано табличний спосіб визначення площ поздовжнього армування. Таблиця має універсальний характер, так як може бути застосована до будь-якого розміру перерізу та будь-якого класу міцності бетону класу нижче C50.

Плоска задача теорії пружності для кільцевої пластини постійної товщини, серединна поверхня якої збігається з координатною площиною циліндричної системи координат, розглянута [3]. Розроблено математичну модель, яка описує плоский напружено-деформований стан пластини у полярній системі координат.

Дослідження [4] засноване на повній системі 20 рівнянь в криволінійних неортогональних координатах лінійної теорії тонких оболонок, що раніше використовувалася при статичному розрахунку довгого гелікоїда. У даній роботі ця система застосовується для визначення напружено-деформованого стану круглих та кільцевих пластин під дією зовнішнього осесиметричного поверхневого навантаження, що діє як у площині пластини, так і від площини пластини. Отримані результати для кільцевої пластини в неортогональних координатах розширюють клас завдань, які можуть вирішуватися в даний час аналітично. Їх можна використовувати як члени першого порядку при розкладанні ряду невідомих переміщень у разі застосування методу малого параметра до довгого розгорнутого гелікоїду. Однак у літературі відсутні пропозиції щодо загальної методики розрахунку круглих пластин на змінно-пружній основі.

Мета роботи. Метою дослідження є застосування аналітичного методу до розрахунку будівельних конструкцій у вигляді круглих пластин і плит, що лежать на безперервній змінно-пружній основі. Згаданий метод отримав назву «метод прямого інтегрування». Він використовується для розрахунку кільцевої пластини з двома варіантами граничних умов: жорстким закріпленням по внутрішньому краю пластини та шарнірним закріпленням зовнішнього краю, і навпаки – шарнірним закріпленням усередині пластини при жорсткому закріпленні зовні.

Отримані результати. Була розглянута кільцева плита постійної циліндричної жорсткості D , що лежить на змінній пружній основі під дією

безперервно розподіленого довільного навантаження (рис.1). Скорочення, прийняті тут, такі: a і b – радіуси зовнішнього і внутрішнього кіл пластини, r – радіальна координата ($0 \leq r \leq a$), $q(r)$ – довільне поперечне навантаження, $R(r)$ – реакція пружної основи. До внутрішніх сил, що діють у пластині, відносяться радіальний M_r і крутний M_θ згинальні моменти, радіальна поперечна сила Q_r .

Завдяки застосуванню методу прямого інтегрування і розрахункових формул для кільцевої пластини, були розглянуті результати чисельної реалізації цього алгоритму на кількох конкретних прикладах. Для перевірки результатів розрахунків за авторською методикою були виконані комп'ютерне моделювання всіх розглянутих прикладів у ПК ЛІРА-САПР та розрахунки методом скінчених елементів (МСЕ).

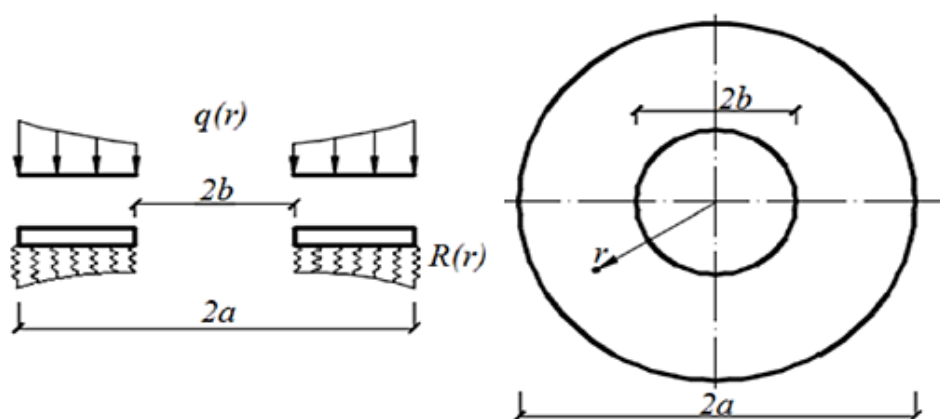


Рис. 1. Кільцева плита на змінній пружній основі під дією довільного поперечного навантаження

У роботі були розглянуті бетонна та сталева кільцеві плити. Для бетонної плити ($E = 1,5 \cdot 10^7$ кПа, $\mu = 1/6$) товщиною $h = 0,12$ м, зовнішнім радіусом $a = 1,8$ м, внутрішнім радіусом $b = 0,9$ м, що знаходиться під дією рівномірно розподіленого постійного навантаження $q = 80$ кПа. Плита жорстко защемлена за внутрішнім контуром і шарнірно закріплена за зовнішнім контуром. Коефіцієнт постелі (рис. 2) постійний: $k(r) = \text{const} = 5000$ кН/м³.

Для сталевих плит ($E = 2,0 \cdot 10^8$ кПа, $\mu = 0,33$) товщиною $h = 0,03$ м, зовнішнім радіусом $a = 0,9$ м, внутрішнім радіусом $b = 0,45$ м, що знаходиться під дією рівномірно розподіленого постійного навантаження $q = 80$ кПа. Пластина жорстко защемлена за зовнішнім контуром і шарнірно закріплена за внутрішнім контуром. Коефіцієнт постелі змінюється за лінійним законом: $k(b) = 4000$ кН/м³, $k(a) = 5000$ кН/м³ (рис. 2).

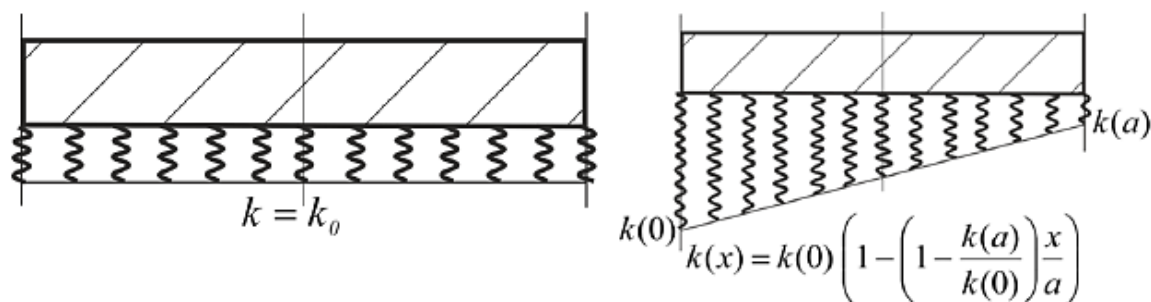


Рис. 2. Закономірності зміни коефіцієнта постелі

Результати розрахунків були отримані при напівавтоматичній розбивці скінчено-елементної сітки при використанні методу скінчених елементів у ПК ЛПА-САПР. Крок розбиття по радіусу було обрано $0,1r$, а розбиття по колу кожної пластини здійснювалося автоматично. При такому підході різниця в результатах розрахунку прогинів МСЕ та авторським методом виявилася незначною, тоді як різниця в результатах розрахунку радіального та окружного моментів досягає 10%. Було прийнято, що при потовщенні сітки в окружному напрямку результати, отримані двома методами визначення радіального та окружного згинальних моментів, значно сходяться. Отже, рекомендується застосовувати «ручну» дрібнішу розбивку сітки при розрахунках методом скінчених елементів подібних конструкцій незалежно від використовованого програмного забезпечення.

Висновки. Таким чином, дослідження показало високу точність та ефективність запропонованого аналітичного методу – методу прямого інтегрування – для розрахунку будівельних конструкцій у вигляді кільцевих плит та пластин, що лежать на безперервній змінно-пружній основі. Результати розрахунків показують, що розбіжність між результатами розрахунку прогинів методом кінцевих елементів і авторським методом становить 1 %, а результати розрахунку радіального та крутного моментів різняться значно, досягаючи 10 %. Ця відмінність викликана через неточність чисельного аналізу, пов'язаного з методом побудови скінчено елементної сітки, яку необхідно робити дрібнішою.

Анотація

Розглядається застосування методу прямого інтегрування – до розрахунків будівельних конструкцій у формі кільцевих пластин на безперервній змінній пружній основі. Виконано комп'ютерне моделювання розглянутих кільцевих пластин у ПК ЛПА-САПР та їх розрахунки методом кінцевих елементів.

Summary

The application of the analytical method of direct integration is considered – to the calculations of building structures in the form of ring plates on a continuous variable elastic foundation. The computer modeling of the considered annular plates and their calculations by the finite element method have been performed.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чижевский К. Г. Расчет круглых и кольцевых пластин. Справочное пособие. Л., Машиностроение, 1977. 184 с.
2. Dorota Pawlus. Solution to the static stability problem of annular plates with a soft core. Journal of theoretical and applied mechanics. Warsaw, 2006. 44. 2. pp. 299–322.
3. Revenko V. Calculation of the plate plane stress in polar coordinate system on the basis of Lamé equation general solution. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, 2018. № 3 (91). pp. 56–62.
4. Кривошапко С. Н. Расчет кольцевой пластины в криволинейных неортогональных координатах с помощью уравнений теории оболочек. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2020. Т. 16. №6. С. 472–480. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-6-472-480

УДК 538.911

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНІ МОДЕЛІ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*асп. Левицький Д.В., кафедра міського будівництва та господарства,
студ. Дуков І.М., кафедра хімії та екології*

*Наукові керівники: к.т.н., доц. Семенова С.В., к.т.н., доц. Колесников А.В.
Одеська державна академія будівництва і архітектури*

Актуальність дослідження. Найбільш суттєвою рисою різноманітних будівельних композитів є присутність у першій фазі їх життєвого циклу стадії твердіння (солідофікації). Матеріал твердне у фіксованих граничних умовах, заданих елементами конструкції, його властивості наближаються до необхідних експлуатаційних характеристик, матеріал набуває багатьох властивостей твердого тіла, зокрема, міцність і пружність. Рівні цих та інших властивостей визначаються елементами різномасштабної структури, особливо мезо- та мікроструктурною його організацією ($< 0,01$ мм). На цих рівнях структура матеріалу дуже