

РОЗВ'ЯЗАННЯ ТЕСТОВИХ ЗАДАЧ ВЗАЄМОДІЇ КОНСТРУКЦІЙ З ҐРУНТОВИМ МАСИВОМ В ПК "ЛІРА"

*Гуслиста Г.Е., асп., Нікіфорова Т.Д., к.т.н., Савицький М.В., д.т.н., проф.
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
м. Дніпропетровськ, Україна*

1. Вступ

Сьогодні в зв'язку з забудовою зсувонебезпечних схилів все частіше виникають задачі розрахунку заглиблених конструкцій будівель і споруд з урахуванням їхньої взаємодії з ґрунтовим масивом и оцінки напружено-деформованого стану як основи, так і конструкцій [1, 2, 3]. При цьому можливі два підходи до розв'язання таких задач.

Перший підхід полягає у визначенні контактних напружень, що виникають на поверхні контакту конструкції і ґрунту.

Як відомо, характер розподілу контактних напружень залежить від жорсткості, форми і розмірів конструкції та від жорсткості (податливості) ґрунту. При цьому розрізняють три випадки, що відображають здатність конструкції і ґрунтового масиву до спільної деформації [4]:

1) *абсолютно жорсткі* конструкції, коли деформативність конструкції дуже мала у порівнянні з деформативністю ґрунту і при визначенні контактних напружень конструкцію можна розглядати як недеформівну;

2) *абсолютно гнучкі* конструкції, коли деформативність конструкції настільки велика, що вона вільно слідує за деформаціями ґрунту;

3) *конструкції скінченної жорсткості*, коли деформативність конструкції сумірна з деформативністю ґрунту; в цьому випадку вони деформуються спільно з перерозподілом контактних напружень.

Контактні напруження застосовуються для наступної оцінки міцності і деформативності або основи, або самої конструкції. Такий підхід використовувався раніше і досі використовується в проектній практиці.

Другий підхід полягає у визначенні напружено-деформованого стану просторової системи *споруда – ґрунтовий масив*. Особливо цей метод отримав розповсюдження з розвитком числових методів розрахунку основ і конструкцій на ЕОМ. Тоді з отриманих у результаті розв'язання задачі напружень для всіх областей при необхідності можуть бути виділені контактні напруження, але при такому "наскрізному" розв'язанні задачі особливої необхідності в цьому не виникає [5].

Такий спільний розрахунок системи *споруда – ґрунтовий масив* можна виконувати у будь-яких програмних комплексах, здатних розв'язувати задачі вказаного типу.

Мета даного дослідження: оцінити можливості ПК "Ліра" розв'язувати задачі взаємодії конструкцій будь-якої гнучкості з ґрунтовим масивом шляхом розв'язання тестових задач по визначенню контактних напружень для балок різної гнучкості на пружній основі.

2. Методи визначення контактних напружень

Методи визначення контактних напружень розвивались в основному з використанням таких розрахункових моделей ґрунту: моделі місцевих пружних деформацій (модель коефіцієнта постелі) і моделі пружного напівпростору. Кожна з моделей має свою область застосування в залежності від характеристик ґрунту.

Якщо величина модуля деформації ґрунту $E > 5$ МПа, тоді в якості розрахункової моделі основи необхідно брати модель пружного напівпростору [4]. В цьому випадку задача визначення контактних напружень зводиться до розв'язання інтегро-диференціального рівняння балки на пружній основі. Отримання точного розв'язку цього рівняння викликає труднощі, тому різні автори (В.А. Флорін, М.І. Горбунов-Посадов, П.І. Клубін, І.А. Симвуді) використовували різні шляхи наближеного розв'язання цього рівняння [6, 7, 8]. В результаті розрахунків ними складені численні таблиці, формули і графіки, зручні в практичному застосуванні.

Також широке використання в практиці знайшов спосіб, розроблений Б.М. Жемочкіним і О.П. Синициним [9], який ґрунтується на застосуванні загальних методів будівельної механіки для розрахунку статично невизначуваних стрижневих систем до розрахунку фундаментних балок і плит, розташованих на суцільній стисливій основі. Суть цього методу полягає в тому, що між балкою та лінійно деформівною основою вводяться абсолютно жорсткі стрижні, через які балка спирається на основу. Відстань між окремими стрижнями береться виходячи з вимог, що ставляться до точності розв'язання контактної задачі. При постановці вертикальних стрижнів-в'язей ставиться умова, що вертикальні переміщення балки і основи в місцях цих стрижнів однакові. Потім виконується розрахунок методом сил: стрижні замінюються невідомими силами і складається система канонічних рівнянь, до якої додаються рівняння, що витікають з умови рівноваги. Розв'язання системи рівнянь дозволяє визначити епюру контактних напружень.

Принцип розв'язання контактних задач в ПК «Ліра» ґрунтується на методі Б.М. Жемочкіна та О.П. Синицина, однак розрахунок виконується не методом сил, а методом скінченних елементів [10]. Скінченно-елементна модель балки на пружній основі представлена на рис. 1.

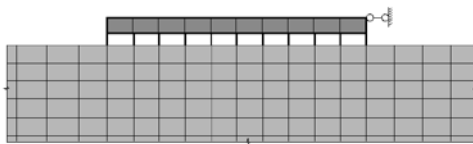


Рис. 1. Скінченно-елементна модель балки на пружній основі

При цьому вертикальні стрижні є двовузловими скінченними елементами (СЕ) одностороннього пружного зв'язку між вузлами (СЕ 262). Даний СЕ є нелінійним і призначений для моделювання одностороннього (що сприймає

або розтяг, або стиск) лінійного зв'язку. В даній задачі кожен стрижень працює тільки на стиск і при виникненні розтягуючих напружень (у випадку відриву балки від основи) виключається з роботи [10].

В результаті розрахунку можна отримати значення зусиль в стрижнях, від яких легко перейти до напружень.

3. Розв'язання тестових задач

В процесі тестування розраховувались балки в умовах плоскої задачі.

При цьому розглядались такі види навантажень:

- зосереджена сила, діюча посередині балки;
- рівномірно розподілене навантаження.

Розрахункові схеми для обох випадків завантаження приведені на рис. 2.

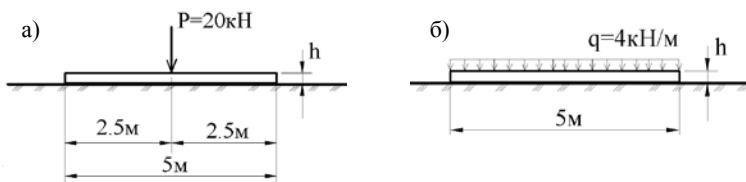


Рис. 2. Розрахункові схеми балок на пружній основі:

а) випадок зосередженої сили;

б) випадок рівномірно розподіленого навантаження.

Гнучкість балок оцінювалась на основі безрозмірного показника гнучкості по М.І. Горбунову-Посадову:

$$t \approx 10 \frac{El^3}{E_\kappa h^3},$$

де E і E_κ - модуль деформації ґрунту и матеріалу конструкції; l і h - довжина і товщина конструкції. Показник гнучкості t змінювався у межах від 0 до 9000 в залежності від зміни товщини балки h (0,1 – 4 м).

В якості ґрунтової основи був прийнятий однорідний ґрунт з характеристиками: модуль деформації $E = 200000 \text{ кН/м}^2$; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,2$; питома вага $\rho = 18 \text{ кН/м}^3$; питоме зчеплення $c = 20 \text{ кН/м}^2$; кут внутрішнього тертя $\phi = 25^\circ$. Характеристики матеріалу балки були прийняті такими: модуль деформації $E = 27000000 \text{ кН/м}^2$; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,176$; питома вага $\rho = 25 \text{ кН/м}^3$.

В результаті числового розрахунку в ПК «Ліра» були отримані епюри контактних напружень. Зміна характеру епюр в залежності від зміни гнучкості якісно співпадає з відомими результатами [4] і представлена на рис. 3.

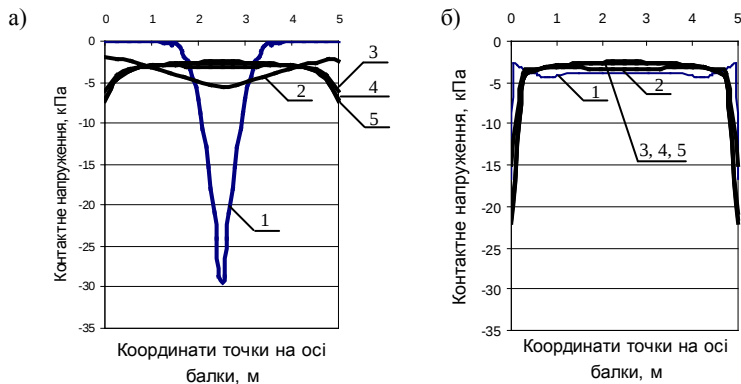


Рис. 3. Зміна характеру епюр контактних напружень в залежності від зміни гнучкості балки для товщин h , м: 1 – 0,1; 2 – 0,5; 3 – 1; 4 – 1,5; 5 – 4:
 а) випадок зосередженої сили;
 б) випадок рівномірно розподіленого навантаження.

Для кількісної оцінки результатів тестових задач були проведені також розрахунки іншими методами: по методу М.І. Горбунова-Посадова та по формулам І.А. Симвуді. Порівняння результатів розрахунків для випадку зосередженої сили приведені на рис. 4.

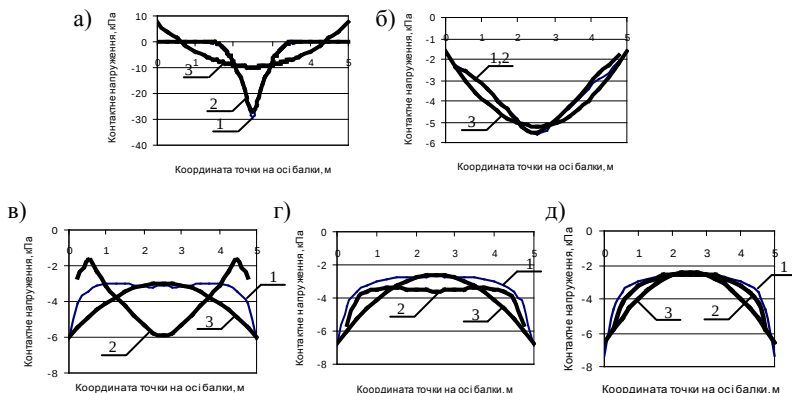


Рис. 4. Порівняння результатів розрахунків балок різної гнучкості на пружній основі, отриманих різними методами (випадок зосередженої сили): 1 – в ПК "Ліра", 2 – по методу Горбунова-Посадова, 3 – по формулам Симвуді (товщина балки h , м: а) 0,1; б) 0,5; в) 1; г) 1,5; д) 4).

При товщині балки 0,1 м (абсолютно гнучка балка) розрахунок по формулам Символіді дає результат, який зовсім не співпадає з результатами Горбунова-Посадова та ПК "Ліра", а також з відомими результатами інших авторів [4]. Величина контактної напруженості в середині балки, розрахована по методу Горбунова-Посадова, при товщині балки 1,5 м на 26 % відрізняється від величин, отриманих по Символіді та в ПК "Ліра", а при товщині балки 1 м зовсім дає якісно інший результат. В усіх інших випадках різниця у результатах не перевищує 8%.

Таким чином, ПК "Ліра" може бути використаний при розрахунках конструкцій, що взаємодіють з ґрунтом.

4. Висновки

1. Виконано аналіз різних підходів до розв'язання задач взаємодії конструкцій будівель і споруд з ґрунтовим масивом, а також методів визначення контактних напружень.
2. Розв'язані тестові задачі, що доводять можливість застосування ПК "Ліра" при розв'язанні контактних задач (зокрема задач взаємодії конструкцій з ґрунтовим масивом).

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Инновационная стратегия разработки энергоэффективных противооползневых сооружений в г. Днепропетровске / И.И. Куличенко, Н.В. Савицкий, В.И. Большаков, В.П. Козинец // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Вып. №15. – Днепропетровск: ПГАСиА, Gaudeamus, 2001. – С. 5 – 13.
2. Многофункциональные энергоэффективные противооползневые сооружения / Куличенко И.И., Савицкий Н.В., Большаков В.И., Щербакова О.В., Никифорова Т.Д., Гуслистая А.Э. // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-техн. збірник. – Вип.. №59: “Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”: Зб. наук. праць у 2-х книгах. – Кн.. 2. – Київ: НДІБК, 2003. – С. 230 – 234.
3. Особенности расчета конструкций заглубленных зданий / Н.В. Савицкий, А.Э. Гуслистая, И.И. Куличенко, Т.Д. Никифорова // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-техн. збірник. – Вип.. №62: “Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”: Зб. наук. праць у 2-х томах. – Том. 1. – Київ: НДІБК, 2005. – С. 273 – 277.
4. Механика ґрунтов, основания и фундаменты: Учеб. пособие для студ. вузов / Под ред. С.Б.Ухова. – М.: Изд-во АСВ, 1994. – 527 с.: ил.
5. Иванов П.Л. Ґрунти и основания гидротехнических сооружений. Механика ґрунтов: Учеб. для гидротехн. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 447 с.: ил.
6. Флорин В.А. Основы механики ґрунтов: В 2-х т. – Л.-М.: Госстройиздат, - Т. 1: Общие зависимости и напряженное состояние оснований сооружений. – 1959. – 357 с.: ил.

7. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 679 с.: ил.
8. Симвулиди И.А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании: Учеб. пособие для строит. спец. вузов. – 5-е изд., перераб. и доп.. – М.: Высш. шк., 1987. – 576 с.: ил.
9. Жемочкин Б.Н., Сеницын А.П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Госстройиздат, 1962. – 240 с.
10. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие / Под ред. А.С. Городецкого. – К. – М.: "Факт", 2003. – 464 с.: ил.

В статті представлені результати розв'язання в ПК "Ліра" тестових задач взаємодії балок різної гнучкості на суцільній пружній основі. Виконано також розрахунок цих балок іншими методами (по методу М.І. Горбунова-Посадова та по формулам І.А. Симвуді). Порівняльний аналіз результатів розрахунків свідчить про можливість застосування ПК "Ліра" при розв'язанні контактних задач взаємодії конструкцій будівель і споруд з ґрунтовим масивом.