

Коректність розрахункових схем в задачах скінчено-елементного аналізу

Активне впровадження ВІМ-технологій, що декларує можливість застосування архітектурних моделей в якості розрахункових, досить часто провокує появу великої кількості помилок проєктування. Це пов'язано з принциповою різницею між зображенням конструкції та її розрахунковою схемою. Відповідно до цього, в дослідженні виконаний верифікаційний тест, що демонструє залежність отриманого результату розрахунку від виду розрахункової схеми.

Постановка проблеми.

Найбільш зручним методом для визначення повного спектру внутрішніх зусиль та переміщень в будівельних конструкціях виступає метод скінчених елементів, який рекомендовано застосовувати в інженерній практиці. Розрахунок реальної конструкції починають з обрання розрахункової схеми. Широкий інструментарій програмних комплексів міцнісного аналізу дозволяє створювати різні схеми для одного і того ж об'єкту, які будуть відрізнятися не лише точністю представлення, але й терміном та трудомісткістю виконання. В цьому випадку проєктант, спираючись на власний досвід і знання, сам обирає вид схеми. В разі експорту моделі з архітектурного комплексу, питання її коректного представлення для проведення розрахунку залишається відкритим. Тому метою даного дослідження було провести верифікаційний тест та визначити, яким чином буде впливати точність моделі конструкції на кінцевий результат розрахунку.

Вихідні дані розрахунку.

В якості вихідної будівельної конструкції було обрано перекриття прольотом $l = 6$ м по сталевим балкам з рифлено-листового настилу завширшки 800 мм та завтовшки 5 мм; балки виконані з прокатного двотавра №20, навантаження становило $q = 10$ кН/м². В разі аналітичного розрахунку, балки настилу розглядаються як статично визначені однопролітні балки на двох опорах, що завантажені погонним навантаженням $q_n = 8$ кН/м. Максимальний згинальний момент в середині балки становить $M_{\max} = ql^2/8 = 8 \cdot 6^2/8 = 36$ кНм,

$$\text{розрахунковий прогин} - f = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI} = \frac{5 \cdot 800 \cdot 6^4}{384 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} = 36 \text{ мм.}$$

В даному тесті було розглянуто 5 різних розрахункових схем перекриття (рис. 1). Геометричні розміри, перерізи та навантаження не змінювалися. Для спрощення задачі робота настилу не враховувалася.

Варіант 1 представляє собою балки у вигляді стержнів та настил, що розташований в рівні центра ваги балки. Така схема є найпростішою та інтуїтивно зрозумілою. Жорсткість настилу не враховується.

Варіант 2 аналогічний попередньому, за винятком положення настилу. За допомогою «жорстких вставок» осям стержнів балок задаємо зміщення на половину їх висоти (100 мм). Така схема візуально більше відповідає архітектурному вигляду конструкції. Жорсткість настилу не враховується.

Варіанти 3 та 4 геометрично відповідають варіантам 1 і 2 відповідно, але в них врахована реальна товщина настилу (5 мм).

Для варіанту 5 була запропонована схема положення настилу на верху балки за допомогою системи допоміжних елементів. При цьому елементи задавалися з круглої сталі Ø5 мм (варіант 5 а) та Ø40 мм (варіант 5 б).

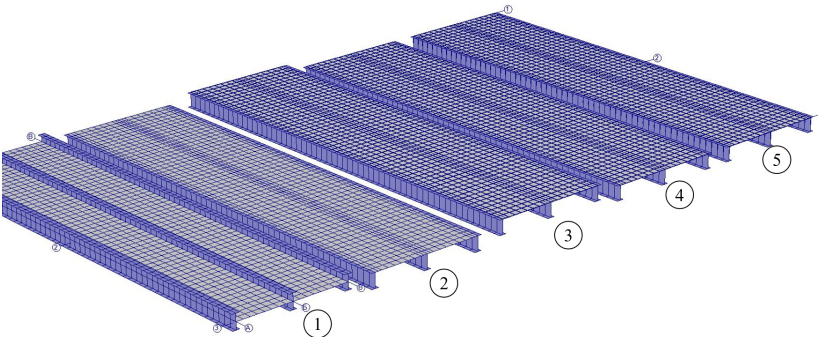


Рис. 1. Розрахункові схеми перекриття

Отримані результати.

Результати розрахунку (для центральної балки) та порівняння з показниками аналітичного підходу наведені в табл. 1 та на рис. 2.

Таблиця 1.

Результати розрахунку

Схема	$M_{\max}$, кНм	f , мм	порівняння, %	
аналітичний розрахунок	36	36	-	-
1	36,0	35,6	0	0
2	32,0	31,3	-11	-13
3	40,0	40,0	+11	+11
4	21,6	21,0	-40	-42
5 а	41,4	41,6	+15	+16
5 б	22,5	22	-38	-39



Рис. 2. Порівняння значень згинального моменту для різних варіантів розрахункових схем

Таким чином, можна підсумувати, що різні варіанти розрахункових схем створених в скінчено-елементному середовищі, при розрахунку можуть давати результати, що суттєво відрізняються. При цьому ця різниця може бути як в сторону збільшення, так і провокувати значну недооцінку зусиль і прогинів. Для конкретно обраного прикладу перекриття найгірший результат показав варіант моделі з точним геометричним розташуванням настилу та врахуванням його реальної товщини, а також складна модель з використанням додаткових елементів (недооцінка зусилля близько 40%). З цього слідує два важливих висновки. По-перше, незважаючи на швидкість та зручність застосовування методу скінчених елементів для розрахунку будівельних конструкцій, інженер-будівельник не повинен відмовлятися від аналітичних методик для розуміння роботи конструкції та коректності отриманого результату. По-друге, активне впровадження BIM-технологій, що декларує можливість застосування архітектурних моделей в якості розрахункових, може спровокувати велику кількість помилок проєктування.

Література

1. Баженов В.А. Будівельна механіка. Розрахункові вправи. Задачі. Комп'ютерне тестування / В.А. Баженов, Г.М. Іванченко, О.В. Шишов, С.О. Пискунов. К.: Каравела, 2010. 502 с.
2. Баженов В.А. Комп'ютерні технології розрахунку просторових конструкцій при статичних і динамічних навантаженнях / В.А. Баженов та ін. К.: Каравела, 2018. 312 с.
3. Махінько А.В. Моделювання синусоїдальної стінки силосів в задачах кінцево-елементного аналізу / А.В. Махінько, Н.О. Махінько, О.В. Воронцов // Building innovations – 2021: зб. наук. пр. за матеріалами IV Міжнародної українсько-азербайджанської науково-практичної конференції (м. Полтава, 20-21 травня 2021 р.). Полтава, 2021. С 141-143.