

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З ВИНЕСЕНИМ АРМУВАННЯМ

Розроблено приклади створення розрахункових схем у програмному комплексі SCAD для класу конструкцій з винесеним робочим армуванням. Отримано поля напружень N_x , N_y , τ_{xy} , переміщення елементів та виявленій характер роботи запропонованої конструкції. Виконано порівняння чисельних та експериментальних досліджень.

Ключові слова: чисельні розрахунки, залізобетон, балка, винесене робоче армування.

Вступ. При точному розрахунку структурні конструкції слід розглядати як багато разів статично невизначні, які треба розраховувати на ЕОМ за спеціально складеними програмами. В основу розрахунку покладений метод скінченних елементів з використанням як основних невідомих переміщень і поворотів вузлів розрахункової схеми. У зв'язку із цим ідеалізація конструкції виконана у формі, пристосованій до використання цього методу, а саме: система представлена у вигляді набору тіл стандартного типу (стрижнів, пластин, оболонки і т.д.), названих скінченними елементами й приєднаних до вузлів [1, 2].

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Відомо, що залізобетонні балки з винесеним робочим армуванням складаються із залізобетонного верхнього пояса та несучої арматури в нижньому поясі. Завдяки використанню решітки й анкерних засобів, верхній та нижній пояси об'єднуються в єдину конструкцію і під дією зовнішніх навантажень працюють сумісно [3, 4]. Таке поєднання сталі та бетону забезпечує сприятливі умови їх раціональної спільної роботи в комплексному сполученні, при якому досягається вигідне використання двох типів матеріалів: під впливом навантаження бетон сприймає стискальні зусилля, а арматура – переважно зусилля розтягу [5].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Залізобетонні балки з винесеним робочим армуванням є новими конструкціями, а отже, вони потребують дослідження напружено-деформованого стану. У зв'язку з розвитком чисельних методів ці конструкції доцільно розрахувати, використовуючи метод скінченних елементів. Не дослідженими є питання врахування конструктивних особливостей, які впливають на напружено-деформований стан залізобетонних балок з винесеним робочим армуванням [6].

Постановка завдання. Для проведення таких досліджень виконаємо порівняння трьох скінченноелементних моделей. При моделюванні залізобетонних балок з винесеним робочим армуванням було прийнято, що конструкції закріплені з обох кінців шарнірно, без можливості горизонтального переміщення та мають такі фізико-механічні властивості матеріалів:

- для сталі – модуль пружності $E = 2,06 \times 10^8 \text{ кН/м}^2$; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$;
- для бетону – модуль пружності $E = 3,60 \times 10^7 \text{ кН/м}^2$; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,2$.

Для моделювання конструкції застосовано пружну модель, тобто залежність між деформаціями та навантаженнями приймається лінійною. Для оцінювання впливу конструктивних особливостей на напружено-деформований стан конструкцій було прийнято три варіанти скінченно-елементних моделей. У розрахунках передбачалось дослідження балок, які були випробувані в процесі натурного експерименту.

Основний матеріал і результати. Балка має такі геометричні характеристики: довжина балки $L = 200 \text{ см}$, загальна висота поперечного перерізу $h = 20 \text{ см}$. Бетонна полиця в верхній частині поперечного перерізу має розміри $120 \times 80 \text{ мм}$ та проектною міцністю бетону С32/40. У нижній частині знаходиться сталева безшовна гарячекатана

труба $\varnothing 50$ мм з товщиною стінки 3 мм. Елементи решітки які зв'язують верхній та нижній пояси, виконані з аналогічних до нижнього пояса труб $\varnothing 32$ мм з товщиною стінки 3 мм.

Моделювання виконувалося відповідно до заданих параметрів жорсткості та ставило за мету досягти найбільшу відповідність розрахункової моделі та реальної конструкції, яка була випробувана під час натурального експерименту.

У першому випадку скінченноелементна модель складається з об'ємних елементів, пластин, стрижнів та абсолютно твердих тіл. Верхній пояс задається 8-вузловими ізопараметричними скінченними елементами (тип 20), нижній пояс та опорні ребра задаються 3- та 4-кутовими SE оболонками (типи 42, 44), решітка задається універсальним стрижнем (тип 10), абсолютно тверді тіла знаходяться в місцях з'єднання решітки з нижнім поясом, імітують розміщення анкерів в бетоні та слугують засобами розподілу прикладеного до вузла навантаження (рис. 1).

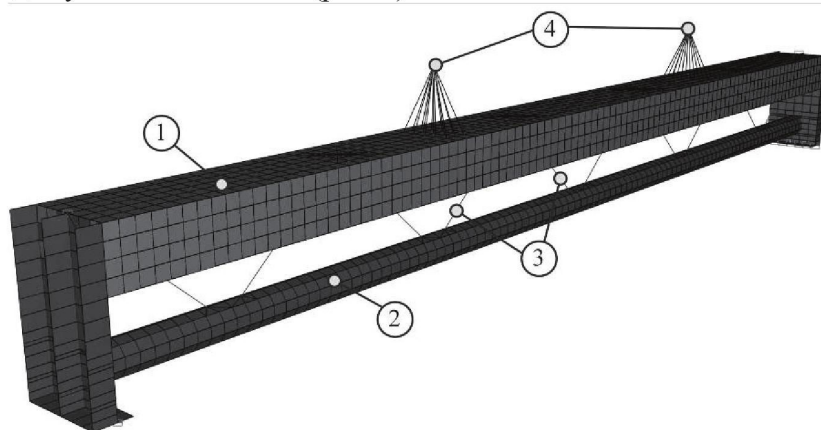


Рисунок 1 – Перший випадок розрахункової скінченноелементної моделі балки Б-3: 1 – 8-вузловий ізопараметричний скінченний елемент; 2 – 4-кутові SE оболонки; 3 – універсальний стрижень; 4 – абсолютно тверді тіла АТТ

На основі отриманої скінченноелементної моделі балки одержуємо необхідні результати напружень N_x (kH/m^2) в об'ємних елементах та пластинах, епюри зусиль N (kH) у стрижнях та значення прогинів у міліметрах. У тих місцях, де при натурному випробуванні були наклеєні тензорезистори та встановлені прогиноміри, випикуємо значення перерахованих вище параметрів для подальшого порівняння. Виходячи з того, що конструкція працює симетрично, показуємо зусилля лише в лівій частині (рис. 2 – 6). Усі наведені нижче значення відповідають навантаженню 60 kH , переданих у дві точки, які знаходяться на відстані 0,6 м від опори

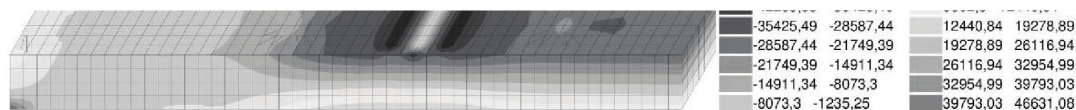


Рисунок 2 – Розподіл напружень N_x (kH/m^2) у верхньому поясі

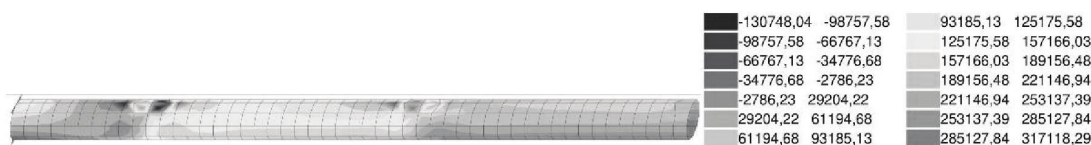


Рисунок 3 – Розподіл напружень N_x (kH/m^2) у нижньому поясі

У другому випадку скінченноелементна модель складається із пластин, стрижнів та абсолютно твердих тіл. Верхній пояс і опорні ребра задаються 3- та 4-кутовими SE

оболонками (типи 42, 44), нижній пояс і решітка задаються універсальними стрижнями (тип 10), абсолютно тверді тіла імітують розміщення анкерів у бетоні та слугують засобами розподілу прикладеного до вузла навантаження (рис. 7).

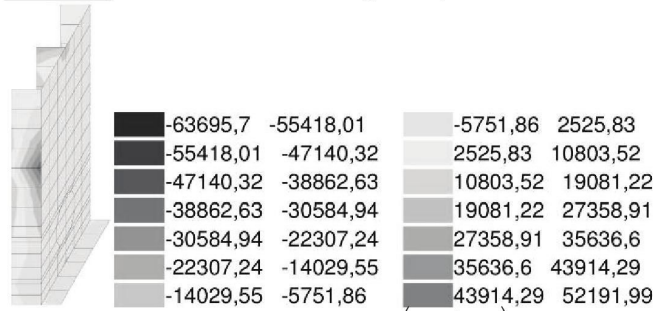


Рисунок 4 – Розподіл напружень N_x (kH/m^2) в опорній частині

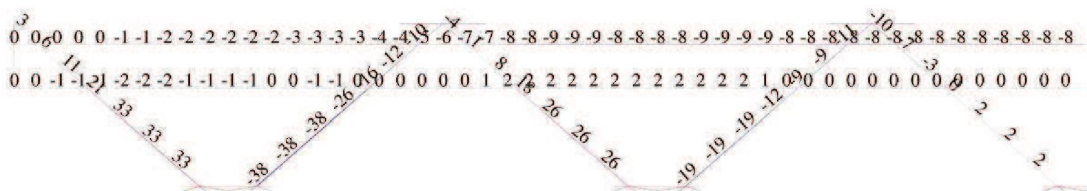


Рисунок 5 – Напруження N (kH) в стрижнях

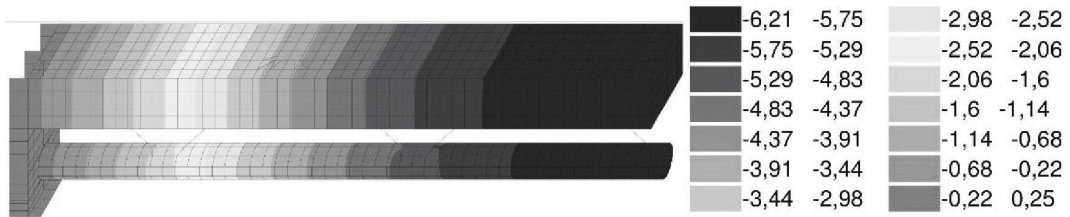


Рисунок 6 – Прогин у конструкції в міліметрах

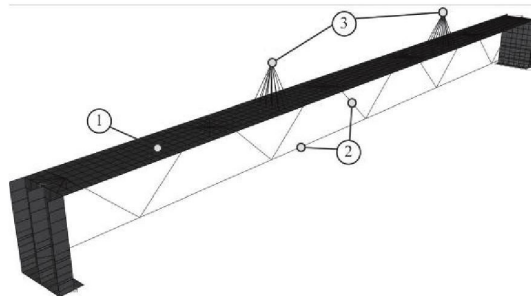


Рисунок 7 – Другий випадок розрахункової скінченноелементної моделі балки:
 1 – 3- та 4-кутові СЕ оболонки; 2 – універсальний стрижень;
 3 – абсолютно тверді тіла АТТ

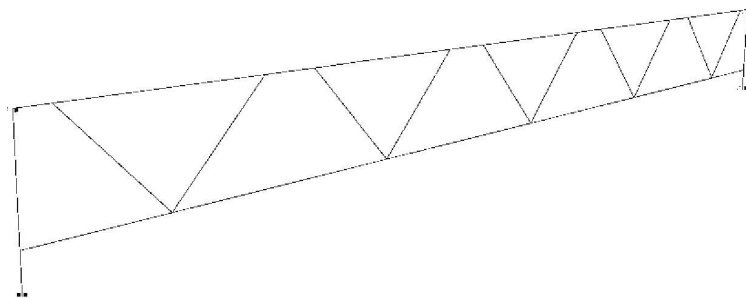


Рисунок 8 – Третій випадок розрахункової скінченноелементної моделі балки

Аналогічно до попередньої схеми отримуємо дані напружень за другою розрахунковою схемою.

У третьому випадку скінченноелементна модель складається із стрижнів (рис. 8). Усі її елементи задаються універсальними стрижнями (тип 10).

Для зручності порівняння одержані дані проводимо на рисунку 10. Основними параметрами є: значення максимальної, мінімальної та середньої збіжності у відсотках. Місця розміщення тензодатчиків та прогиноміру показані на рисунку 9.

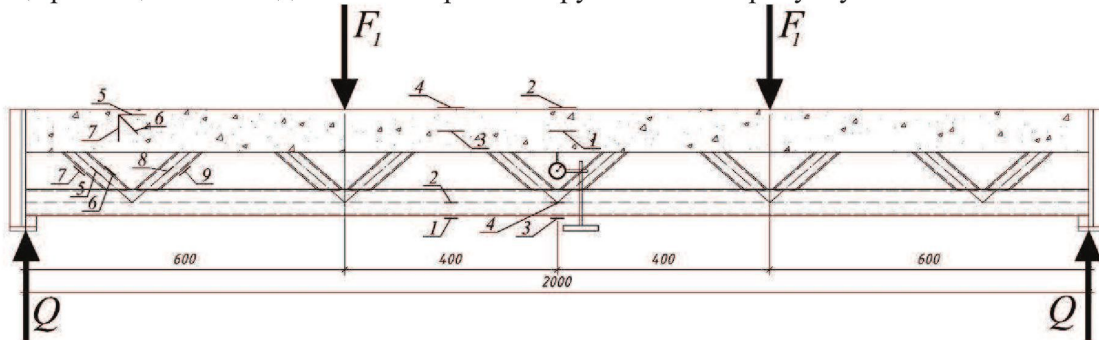


Рисунок 9 – Розміщення тензодатчиків та прогиноміру

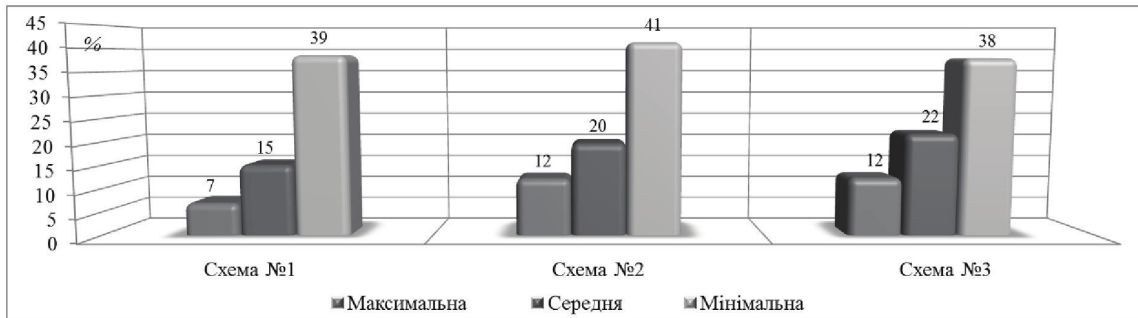


Рисунок 10 – Дані про середню збіжність розрахунків

ВИСНОВКИ. у процесі розрахунків чисельними методами за допомогою програмного комплексу SCAD були розроблені такі скінченноелементні моделі: скінченноелементна модель №1 створює об'ємну 3D-модель з використанням стрижнів, пластин, об'ємних елементів та абсолютно твердих тіл; скінченноелементна модель №2 створює об'ємну 3D-модель з використанням стрижнів, пластин і абсолютно твердих тіл; скінченноелементна модель №3 створює плоску 2D-модель з використанням лише стрижнів. На основі запропонованих розрахункових схем отримані дані напружень в елементах конструкції, побудовані порівняльні діаграми. При порівнянні даних, одержаних у процесі натурного експерименту з розрахунками чисельних методів, стає зрозуміло, що найбільш коректною схемою щодо отримання точніших даних є перша скінченноелементна модель, але така збіжність результатів не завжди потрібна, тоді для економії часу на створення моделі доцільно використовувати другу модель. Одержані поля напружень ширше описують роботу нових конструкцій і дають можливість виявити найбільш слабкі місця. Такий комплекс програм цілком задовольняє всі вимоги щодо розрахунку залізобетонних конструкцій з винесеним робочим армуванням.

Література

1. В.М.Михайленко, М.А.Микитаренко, А.В.Церельмутер, М.А.Церельмутер. – м.Іздательство АСВ, 2004. – 592 с.

2. Розин, Л. А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам [Текст] / Л. А. Розин. – М. : Стройиздат, 1977. – 456 с.
3. Нові види сталезалізобетонних згинальних конструкцій / Л. І. Стороженко, О. В. Нижник, А. В. Іванюк, Г. П. Куч // Ефективно-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Вип. 21. – Рівне: НУВГП, 2011. – С. 366 – 373.
4. Стороженко, Л. І. Експериментальні дослідження сталезалізобетонних блоків з армуванням трубами [Текст] / Л. І. Стороженко, О. В. Нижник, Г. П. Куч // Дороги і мости: зб. наук. пр. ДДНДІ. – Вип. 11. – К., 2009. – С. 331 – 335.
5. Johnson, R. P. Designers' Guide to EN 1994-1-1: Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1 : General Rules and Rules for Buildings (Pt. 1) / R.P. Johnson, D. Anderson. – Thomas Telford Publishing, 2004. – 248 p.
6. Перспективи розвитку конструкцій із залізобетону [Текст] / Стороженко Л.І., Муравльов В.В., Школяр С.П., Школяр Ф.С. // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація / Зб. наук. пр. Вип. 9. – Кривий Ріг, 2011. – С. 185 – 189.
7. Стороженко Л.І. Структурно-вантові сталезалізобетонні конструкції [Текст] : міжвід. наук.-техн. зб. / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 78. – Кн. 2. – С. 195 – 200.
8. Gasii G.M. Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete [Electronic resource] / G.M. Gasii // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №9. – P. 23 – 25.