

## ЧИСЕЛЬНІ 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  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $\tau_{xy}$ , переміщення елементів та виявлений 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 розраховувати, 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  $E = 2,06 \times 10^8 \text{ kH/m}^2$ ; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,3$ ;
- для бетону – модуль пружності  $E = 3,60 \times 10^7 \text{ kH/m}^2$ ; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,2$ .

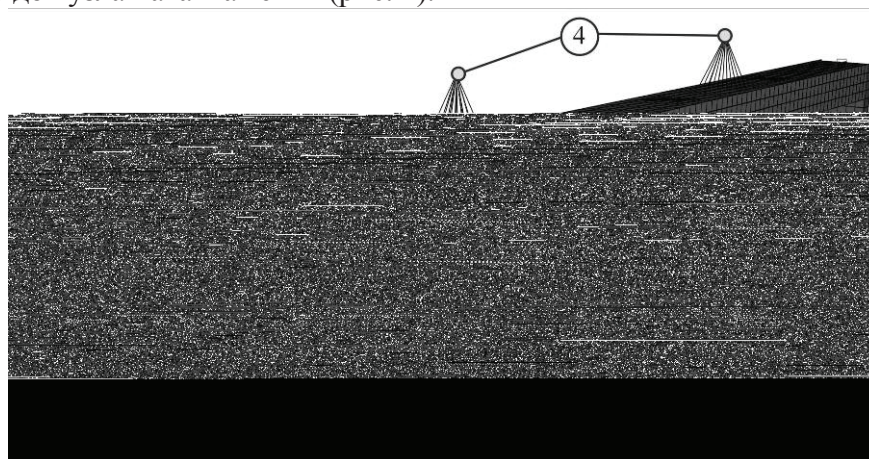
Для моделювання конструкції застосовано пружну модель, тобто залежність між деформаціями та навантаженнями приймалася лінійною. Для оцінювання впливу конструктивних особливостей на напружено-деформований стан конструкцій було прийнято три варіанти скінченно-елементних моделей. У розрахунках передбачалось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

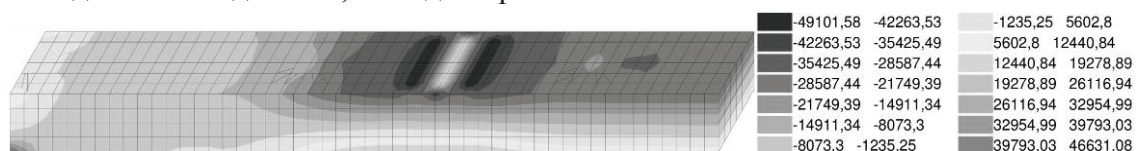
Моделювання виконувалося відповідно до заданих параметрів жорсткості та ставило за мету досягти найбільшу відповідність розрахункової моделі та реальної конструкції, яка була випробувана під час натурального експерименту.

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 36), нижній пояс та опорні ребра задаються 3- та 4-кутовими СЕ 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).

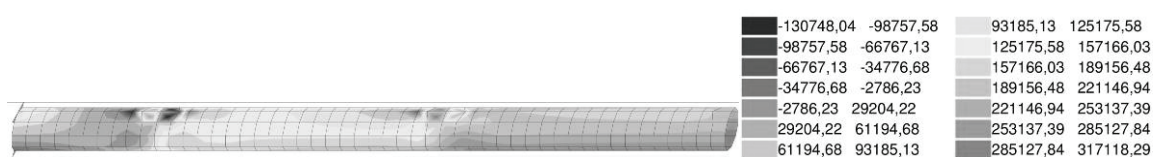


**Рисунок 1 – Перший випадок розрахункової скінченноелементної моделі балки Б-3: 1 – 8-вузловий ізопараметричний скінченний елемент; 2 – 4-кутові СЕ оболонки; 3 – універсальний стрижень; 4 – абсолютно тверді тіла АТТ**

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, виписуємо 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 СЕ





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.

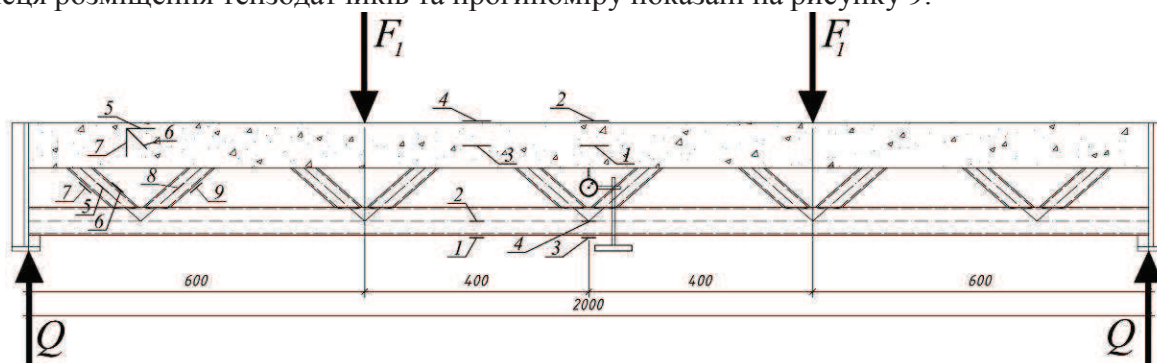


Рисунок 9 – Розміщення тензодатчиків та прогиноміру

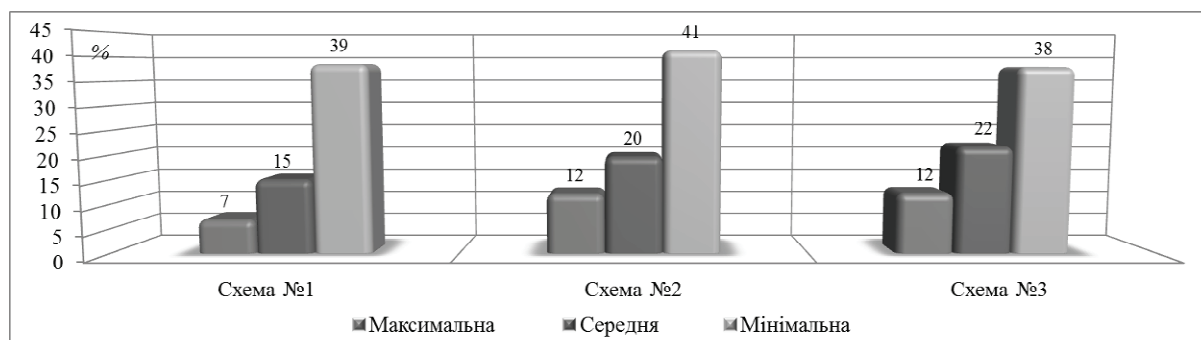


Рисунок 10 – Загальна середня збіжність результатів

**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. Вычислительный комплекс SCAD [Текст] / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, М.А. Микитаренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер. – М.: Издательство 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, Т. П. Куч // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Вип. 21. – Рівне: НУВГП, 2011. – С. 366 – 373.
4. Стороженко, Л. І. Експериментальні дослідження сталезалізобетонних балок з армуванням трубами [Текст] / Л. І. Стороженко, О. В. Нижник, Т. 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.

Ф.С. Школяр, аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ВЫНЕСЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Разработаны примеры создания расчетных схем в программном комплексе SCAD для класса конструкций с вынесенным рабочим армированием. Получены поля напряжений  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $\tau_{xy}$ , перемещения элементов, и обнаружен характер работы предложенной конструкции. Выполнены сравнения численных и экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** численные расчеты, железобетон, балка, вынесенное армирование.

F.S. Shkolyar, postgraduate.

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

## NUMERICAL CALCULATION METHODS CONCRETE BEAMS WITH REINFORCEMENT CARRIED OFF

The examples of the creation calculation schemes in the program complex SCAD for the class of designs with an external workers reinforcement are developed. The stress fields  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $\tau_{xy}$ , moving items and detected character of work of the proposed design are obtained. The comparisons of the numerical and experimental studies are fulfilled.

**Keywords:** numerical calculations, beam, rendered reinforcement.

Надійшла до редакції 26.10.2014

© Ф.С. Школяр