

**ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
ЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**NUMERICAL MODELING OF COMPOSITE ELEMENTS BY  
FINITE ELEMENTS METHOD**

**Стороженко Л.І., д.т.н., проф., Семко П.О., к.т.н., с.н.с.,  
Єфіменко О.І., асп. (Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка)**

**Storozhenko L.I., DSc in engineering, professor, Semko P.O., Ph.D.,  
Senior researcher, Yefimenko O.I., postgraduate student (Poltava National  
Technical Yuri Kondratyuk University).**

У статті представлені результати чисельного моделювання сталезалізобетонних елементів. Для всіх досліджуваних зразків, які були попередньо випробувані експериментально, були створені ідентичні реальним математичні моделі для яких була визначена несуча здатність та проаналізовано напружено-деформований стан.

This paper deals with results of numerical modeling of composite elements. The purpose of the work was comparing the data obtained by the numerical method with the results of experimental studies of steel reinforced concrete elements. The structures of length 1000 mm, 1700 mm, 2400 mm with a cross section of 100x100 mm were investigated. The cross-section represents two metal sheets, which are connected by reinforcing rod and a concrete core. For all investigated samples that were previously tested experimentally, identical real mathematical models were created for which with the help of numerical simulation in the software complex SCAD Soft, the bearing capacity and stress-strain state were investigated and analyzed.

The conducted analysis of the research using the finite element method showed that the construction of the finite element model must begin with the idealization of the design which includes the definition of the size and types of the finite element.

For studies it was accepted to model the metal component of a finite element of the "plate-shell" type, and the concrete component of a finite element of the type "volume prismatic".

The simulation results indicate that the pattern of deformation of simulated structures coincides with similar deformed patterns of experimental samples.

With increasing load in the average section as a result of accumulation of plastic deformations a plastic hinge was formed, therefore, for a more precise modeling it is necessary to take into account the influence of plastic deformations.

The results of the simulation of steel reinforced concrete constructions reinforced with sheets using the finite element method compared with the values of bearing capacity obtained by experimental tests differ by 5.7-9.9%, which is a satisfactory result, and confirms the possibility of a partial replacement of field studies by numerical.

Ключові слова: сталезалізобетонні елементи, несуча здатність, чисельне моделювання

Keywords: composite elements, bearing capacity, numerical modeling

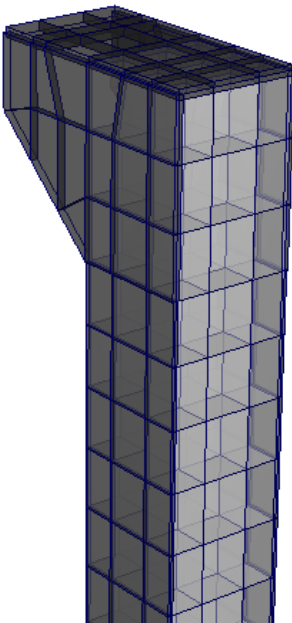
В останні роки із значним розвитком доступності та зростанням можливостей персональних комп'ютерів для науковців відкрилися фактично необмежені можливості моделювання, розрахунку і проектування будівельних конструкцій за допомогою САПР (Систем Автоматизованого Проектування). На сьогодні існує значна кількість закордонних програмних комплексів створених для вирішення різноманітних інженерних завдань: розрахунку, аналізу та моделювання фізичних процесів, найбільш відомі серед них ABAQUS, ANSYS, ESAComp, Femap, CAE Fidesys, HyperWorks, Moldex3D, NX Nastran та вітчизняних – SCAD Soft, Lira.

Сталезалізобетонні конструкції, являючи собою ефективне поєднання сталі та бетону або залізобетону активно досліджуються протягом останніх 40-50 років, що знайшло своє відображення у роботах Стороженка Л.І. [1], Лопатто А. Е. [2], Fan А. [3], Thai Н. Т. [4], Morino S. [5], Liang Q. Q. [6], Schneider S.P. [7], Zhao X.L. [8].

Особливостям чисельного моделювання методом скінченних елементів присвячені праці Ричкова С.П. [9] та моделюванню сталезалізобетонних конструкцій Семка П.О. [10].

Метою роботи було порівняння даних отриманих чисельним методом із результатами експериментальних досліджень сталезалізобетонних елементів.

Розрахунки проводились за допомогою програмного комплексу SCAD Office 11.3. Для моделювання обрана конструкція розмірами аналогічними тим, що були попередньо досліджені експериментально. Досліджувались конструкції довжиною 1000мм, 1700мм, 2400мм із поперечним перерізом 100х100мм (рис. 1). Поперечний переріз являє собою два металевих листи, що об'єднані арматурними стрижнями та бетонного ядра. Всі компоненти перерізу працювали сумісно, як показали експериментальні дослідження. Тому з'єднання металевих та бетонних елементів було обрано як жорстке. Моделювання металеві складові було проведено за допомогою скінченного елемента «оболонка» товщиною 4мм та розміром 30х40мм, бетонне ядро моделювалось об'ємними «призматичними» елементами розмірами 30х30х40.



а)



б)

Рис. 1. Математична модель (а) та фото експериментального зразка (б)

Опорні ребра моделювались у відповідності до експериментальних зразків «оболонками» товщиною 6 мм. Опорна пластина – «оболонками» товщиною 8 мм.

Розрахункова схема визначена, як система загального виду, основні невідомі представлені лінійними переміщеннями вузлів уздовж осей X, Y, Z і поворотами навколо цих осей.

Обчислені значення лінійних переміщень і поворотів вузлів від завантажень представлені в таблиці результатів розрахунку.



Рис. 2. Модель завантажена з ексцентриситетом 50 мм

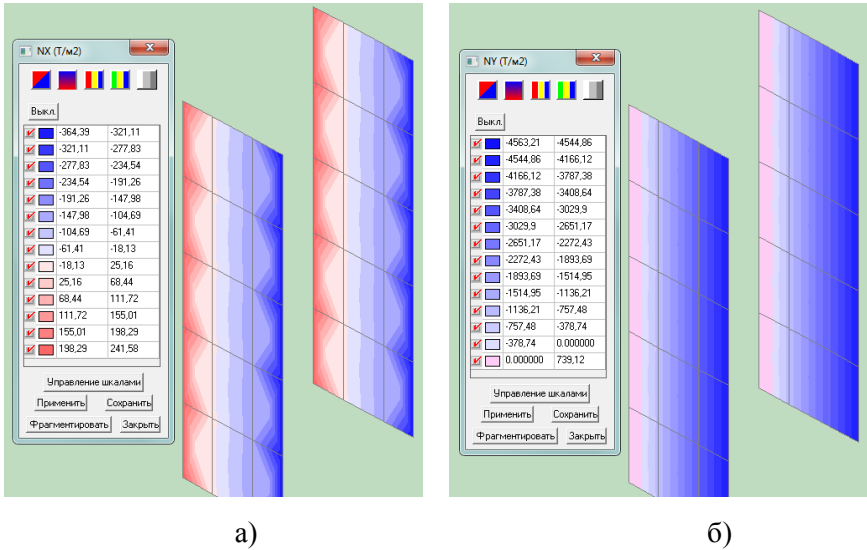


Рис. 5. Напруження в металі, в середині елемента –  
а)  $N_x$ , т/м<sup>2</sup>; б)  $N_y$ , т/м<sup>2</sup>;

Правило знаків для переміщень було прийнято таким, що лінійні переміщення позитивні, якщо вони спрямовані убік зростання відповідної координати, а кути повороту позитивні, якщо вони відповідають правилу правого гвинта (при погляді від кінця відповідної осі до її початку рух відбувається проти годинникової стрілки).

Розглянемо моделювання на прикладі зразка висотою 1700 мм із ексцентриситетом прикладення навантаження 50 мм. На рисунку 2 показано порівняння деформованої схеми конструкції з аналогічним експериментальним зразком. Характерним є те що конструкції мають схожу схему деформування. Зі зростанням навантаження в середньому перерізі в результаті накопичення пластичних деформацій утворився пластичний шарнір.

На етапі коли деформації найбільш стиснутої фібри елемента не перевищували межу плинності металу розбіжність результатів становила 9,4%. За рахунок збільшення зусилля та накопичення пластичних деформацій значення деформацій конструкції в відзнялись від моделі на 14,8%.

Таблиця 1

Значення розрахунків несучої здатності за результатами моделювання методом скінченних елементів

Серія зразка	Довжина, L, мм	Ексц. $e_0$ , мм	Експ. несуча здатність, N1, кН	Значення за МСЕ, кН	Відхилення, %
СБ-ПД-10-1	1000	0	238	215	9,8
СБ-ПД-10-2	1000	25	154	143	7,1
СБ-ПД-10-3	1000	50	105	99	5,7
СБ-ПД-17-1	1700	0	234	219	6,6
СБ-ПД-17-2	1700	25	144	136	5,6
СБ-ПД-17-3	1700	50	93	84	9,4
СБ-ПД-24-1	2400	0	211	194	8,0
СБ-ПД-24-2	2400	25	148	133	9,9
СБ-ПД-24-3	2400	50	102	96	6,1

Результуючі значення розрахунків несучої здатності за результатами моделювання методом скінченних елементів та експериментальні значення несучої здатності для всіх дослідних зразків наведені в таблиці 1.

Результати проведеного моделювання сталезалізобетонних стрижневих конструкцій армованих листами за допомогою методу скінченних елементів порівняно із значеннями несучої здатності отриманими за допомогою експериментальних випробувань відрізняються на 5,7-9,9%, що є задовільними результатом, та підтверджує можливість часткової заміни натурних досліджень чисельними.

1. Проведений аналіз досліджень за допомогою методу скінченних елементів показав, що побудову кінцево-елементної моделі необхідно розпочати з ідеалізації конструкції, що включає в себе визначення розмірів і типів кінцевого елемента.

2. Для досліджень було прийнято моделювати металеву складову скінченним елементом типу «пластина-оболонка», а бетонну складову скінченним елементом типу «об'ємний призматичний».

3. Результати моделювання свідчать, що характер деформування змодельованих конструкцій співпадає з аналогічними деформованими схемами експериментальних зразків.

4. Різниця між несучою здатністю отриманою за допомогою математичного моделювання та експериментальних досліджень коливалась у межах 5,7-9,9%.

5. Зі зростанням навантаження в середньому перерізі в результаті накопичення пластичних деформацій утворився пластичний шарнір, отже для більш чіткого моделювання необхідно враховувати вплив пластичних деформацій.

1. Стороженко Л. И. Трубобетонные конструкции – К.: Будівельник, 1978. – 82 с.

2. Лопатко А. Э. О свойствах бетона, твердеющего в замкнутой обойме и жесткости трубобетонных элементов Строительные конструкции. – К.: Будівельник, 1973. – Вип. 11. – С. 232 – 234.

3. Fan A. Concrete-filled steel tubes subjected to axial compression and lateral cyclic loads Journal of Structural Engineering, 2004. – 130 (4). – P. 631 – 640.

4. Thai H. T. Behavior of bolted endplate composite joints to square and circular CFST columns Journal of constructional Steel Research. – 2017. – Vol. 131. – P. 68 – 82.

5. Morino S. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column on Japan Earthquake Engineering and Engineering Seismology. – 2002. – Vol. 4. No. 1. – P. 51 – 73.

6. Liang Q. Q. Nonlinear analysis of axially loaded circular concrete filled stainless steel tubular short columns Journal of constructional Steel Research. – 2014. – Vol 101. – P. 9 – 18.

7. Schneider S.P. The Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column Frames 13th World Conference on Earthquake Engineering. – Vancouver, B.C., Canada. – Paper No. 252. – 2004.

8. Zhao X.L. Cold-Formed Tubular Members and Connections Elsevier Science Pty Ltd, Oxford, UK. – 2005. – 241 p.

9. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran – М.: ДМК Прес, 2013. – 784 с.

10. Семко П. О. Чисельне моделювання трубобетонних колон із рознімними стиками методом скінченних елементів Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДузт, 2017. – Вип. 172. – С. 65 – 72.