

*Г.М. Гасій, Л.М. Стовба, аспірантка  
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

**ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
ЗГИНАЛЬНИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КВАДРАТНОГО  
ПЕРЕРІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ  
NASTRAN**

*У статті розглянуто можливість розрахунку й аналізу сталобетонних конструкцій за допомогою програм, що базуються на методі скінченних елементів.*

**Ключові слова** – *сталобетонна балка, висота стисненої зони бетону, метод скінченних елементів, експериментальні результати.*

*В статье рассмотрена возможность расчета и анализа сталобетонных конструкций с помощью программ, которые базируются на методе конечных элементов.*

**Ключевые слова** – *сталобетонная балка, высота сжатой зоны бетона, метод конечных элементов, экспериментальные результаты.*

*In the article possibility of calculation and analysis of steel- concrete constructions is considered by the programs which are based on the method of finite elements.*

**Keywords** – *steel-concrete girder, height of the compressed zone of concrete , method of final elements, experimental results.*

**Постановка проблеми.** На даному етапі розвитку українського будівництва широко впроваджуються ефективні сталезалізобетонні

конструкції. Тому постає питання їх дослідження й обґрунтування ефективності з використанням сучасних наукових методів експериментальних досліджень, методів оцінки напружено-деформованого стану (НДС), методів розрахунків. Найбільш широко для таких цілей застосовують програмне забезпечення (ПЗ), що базується на методі скінченних елементів (МСЕ) [2, 3]. За допомогою ПЗ можна детально проаналізувати НДС будь-якої конструкції.

**Аналіз останніх досліджень.** Сталезалізобетонні конструкції уже досить давно досліджуються як за кордоном [5], так і в Україні [1, 2, 3, 4], але в основному в якості несучих конструкцій мостів, колон, стійок тощо, тобто по суті сталеві елементи в цих конструкціях виконують роль додаткового армування. Порівняно нові конструкції, що являють собою згинений елемент квадратного перерізу, заповнений бетоном уже досліджувалися, але в процесі вивчення не було приділено уваги детальному аналізу НДС із застосуванням ПЗ та порівнянням результатів з експериментальними даними.

**Виділення не розв'язаних раніше частин поставленої проблеми.** Проведення детального аналізу напружено-деформованого стану балок квадратного трубчатого перерізу, заповненого бетоном, при різних схемах завантаження за допомогою програмного комплексу MSC.Nastran.

**Основними цілями** даної статті є:

- виконати розрахунок сталобетонних балок (СБ), використовуючи програмне забезпечення MSC.Nastran;
- за результатами розрахунку в MSC.Nastran детально проаналізувати НДС опорних частин СБ;
- виконати порівняльний аналіз отриманих даних із результатами попередньо проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

**Виклад основного матеріалу.** Сталебетонна балка складається із сталеві труби квадратного перерізу, заповненої бетоном. Для з'ясування характеру роботи балки та встановлення закономірностей розподілу напружень по тілу конструкції залежно від способу прикладення навантаження (рис.1.) було застосовано МСЕ.

Дослідження конструкції здійснювалося за двома схемами завантаження, згідно з якими сили прикладалися через траверсу з довжинами  $L_{тр} = 1500$  та  $500$  мм.

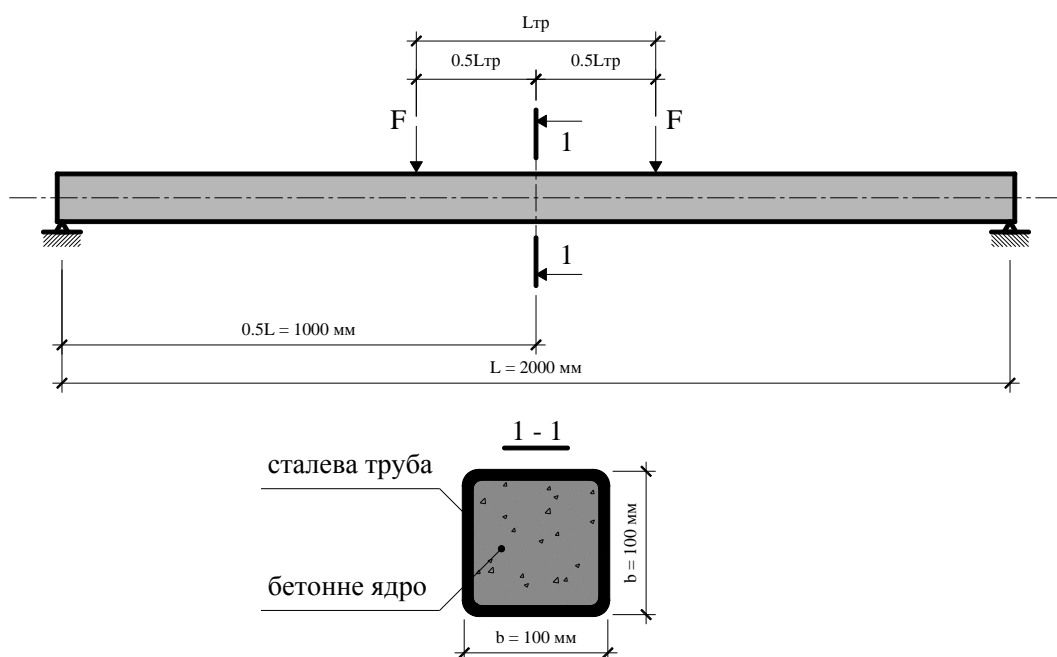


Рисунок 1 – Схема завантаження сталебетонної балки

Для подальших досліджень та розрахунків необхідно привести переріз композитної конструкції до якогось одного.

Приведений переріз

$$S_{i\bar{o}} = S_{\bar{n}\bar{o}} \cdot \lambda = S_{\bar{n}\bar{o}} \cdot \frac{R_b}{R_s}. \quad (1)$$

Для визначення приведенного перерізу сталебетонної балки були використані фізико-механічні властивості сталі ВСтЗкп, що прийняті згідно з діючою нормативною літературою для труб квадратного перерізу та бетону класу В30.

$$R_b = 17,0 \text{ МПа} ;$$

$$R_s = 0,58 \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_m} = 0,58 \cdot \frac{225 \text{ МПа}}{1,025} = 127,3 \text{ МПа} .$$

Тоді, відповідно до формули (1):

$$S_{i\partial} = S_{\bar{n}\partial} \cdot \lambda = 0,000975 \text{ м}^2 \cdot \frac{17,0 \text{ МПа}}{127,3 \text{ МПа}} = 0,007 \text{ м}^2 .$$

Розрахуємо таку конструкцію, використовуючи результати попередніх досліджень.

Згинальні елементи із сталевих квадратних труб, заповнених бетоном, по приведених перерізах слід розраховувати за формулою (2):

$$M_1 \leq W_1 R_y, \quad (2)$$

де  $W_1$  – приведений до сталі момент опору перетину згинального трубобетонного елемента, що працює за пружною схемою (рис. 2).

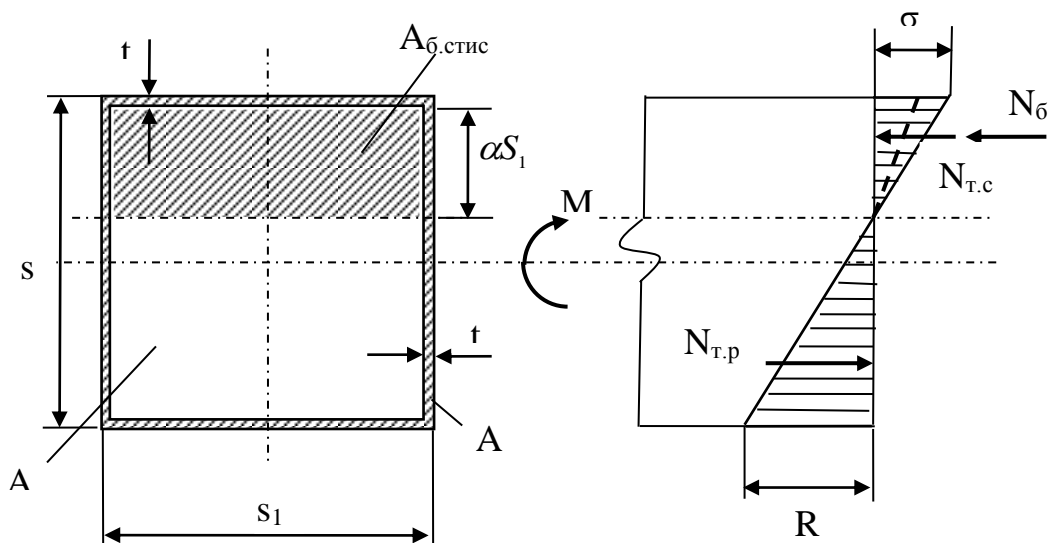


Рисунок 2 – Розрахункова схема згинального елемента

У якості граничного стану по несучій здатності, що відповідає  $M_1$ , вважаємо досягнення поздовжніми напруженнями в одному з крайніх волокон труби значення межі плинності  $R_y$ .

Позначимо через  $\alpha$  відносну висоту стисненої зони;

$$\alpha = \frac{\dot{A}_{a,\dot{n}\dot{o}\ \dot{e}\dot{n}}}{\dot{A}_a}, \quad (3)$$

де  $\dot{A}_{a,\dot{n}\dot{o}\ \dot{e}\dot{n}}$  – висота стиснутого бетону;

$\dot{A}_a$  – повна висота бетонного перерізу.

Після проведених перетворень (3), використовуючи теорію плоских перерізів, отримаємо, що відносна висота стисненої зони бетону буде визначатися за формулою (4).

$$\alpha = \frac{\sqrt{1 + \frac{A_b}{A_s} \frac{E_b}{E_s}} - 1}{\frac{A_b}{A_s} \frac{E_b}{E_s}}. \quad (4)$$

За допомогою ЕОМ обчислені значення  $\alpha$  для сортаменту замкнутих профілів від 80×80×3 до 180×180×8, заповнених бетоном класів за міцністю від В10 до В60. На рисунку 3 показано, якою мірою значення  $\alpha$  залежать від профілю труби і міцності бетону.

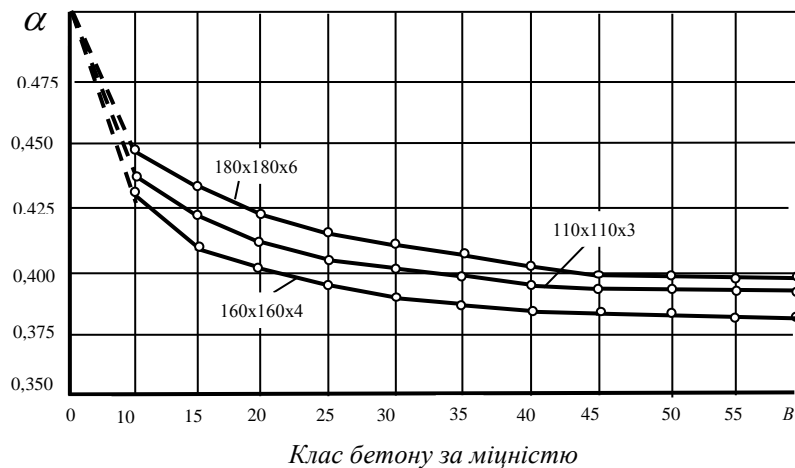
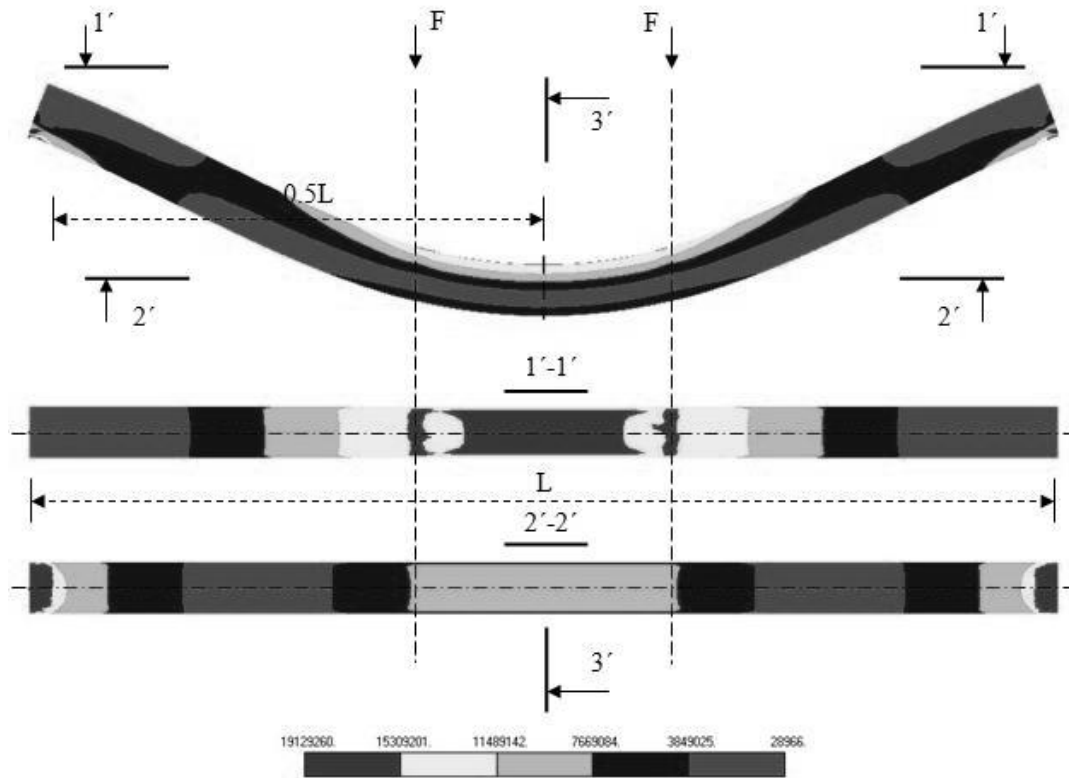
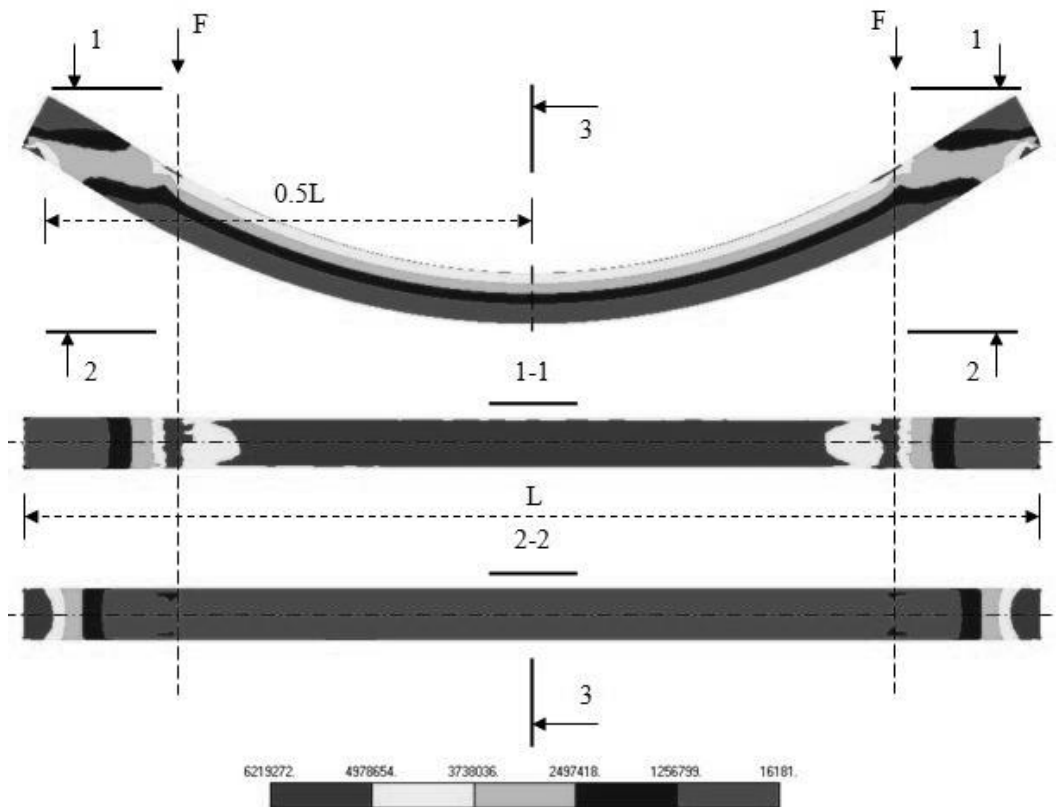


Рисунок 3 – Залежність відносної частини стисненої зони  $\alpha$  від класу бетону  $B$  для згинальних елементів

Використавши одержані значення  $\alpha$ , досліджувану конструкцію було розраховано за допомогою методу скінченних елементів.



а)



б)

Рисунок 4 – Розподіл напружень за критерієм Мізеса, по тілу СБ:

а) – при траверсі  $L_{тр}=500$  мм; б) – при траверсі  $L_{тр}=1500$  мм

При моделюванні СБ було прийнято, що балка закріплена з обох кінців шарнірно, без можливості горизонтального переміщення та має такі фізико-механічні властивості матеріалів:

для сталі – модуль пружності  $E = 2,06 \times 10^8$  кН/м<sup>2</sup>; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,3$ ;

для бетону – модуль пружності  $E = 3,25 \times 10^7$  кН/м<sup>2</sup>; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,2$ .

Для моделювання конструкції застосовано пружну модель, тобто залежність між деформаціями та навантаженнями приймалася лінійною.

Прийнявши необхідні вихідні параметри фізико-механічних властивостей матеріалів, значення відносної висоти стисненої зони та приведений переріз сталобетонної балки, отримали числові значення внутрішніх зусиль у балці.

За результатами розрахунку отримано значення напружень, які відображені у вигляді діаграм, де кожному кольору відповідає певний проміжок напружень (рис.4.).

Залежності поздовжніх деформацій від величини згинального моменту відображені на рис.5 – рис.7.

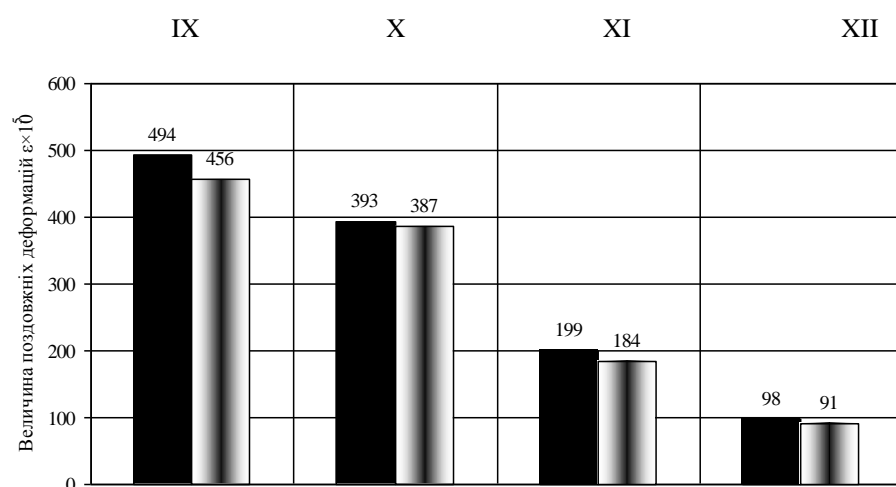
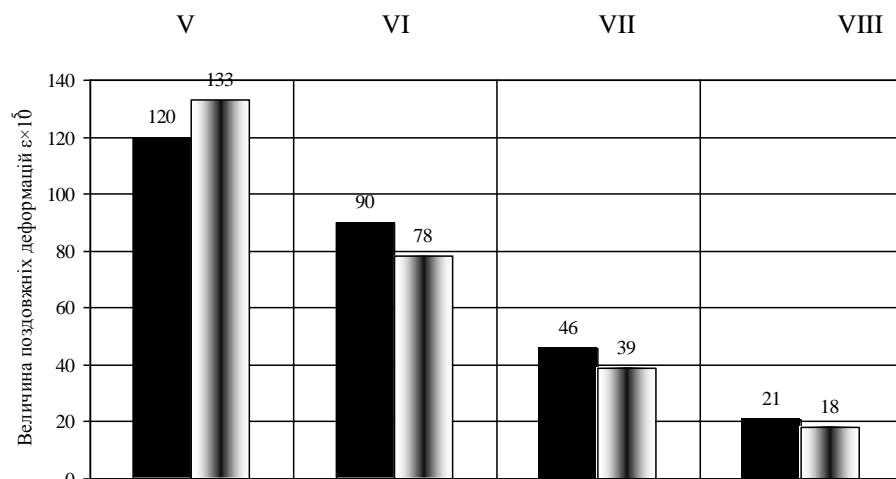
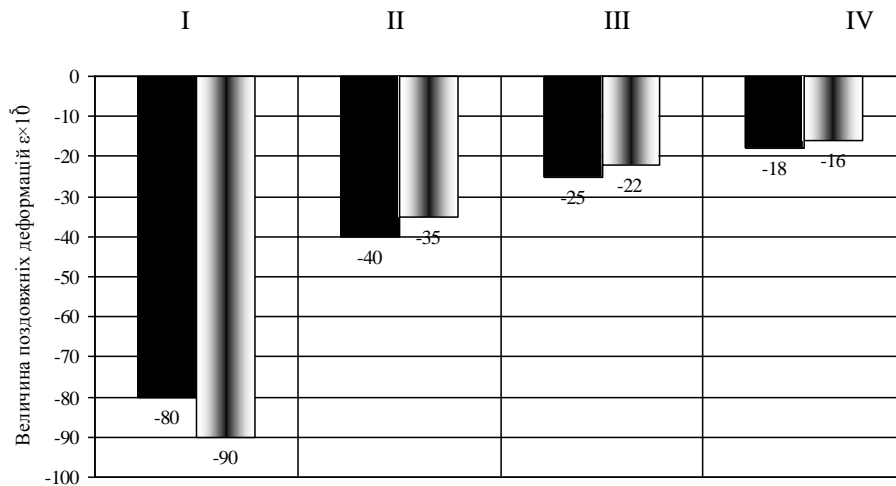
Розрахунок показав, що при однаковій величині завантаження, але при різному розміщенні точок прикладення сил, внутрішні зусилля мають різні значення.

Маючи числові значення розрахунків СБ та результатів експериментальних досліджень, здійснили порівняльний аналіз із результатами, одержаними за допомогою МСЕ, реалізованого в програмному комплексі Nastran.

Порівняльний аналіз проводився для числових значень деформацій, отриманих у припорних ділянках конструкції (рис. 8).

Оскільки під час проведення експериментальних досліджень дослідні зразки доводилися до моменту, при якому в крайніх волокнах конструкції

досягалася межа плинності, а розрахунок за допомогою Nastran здійснювався у пружній стадії, то для порівняння були відібрані експериментальні значення деформацій, при котрих спостерігалася лінійна залежність.



■ Експериментальні □ МСЕ



Рисунок 5 – Залежність поздовжніх деформацій від величини згинального моменту на приопорній ділянці при дії моменту  $M=80$  кНм

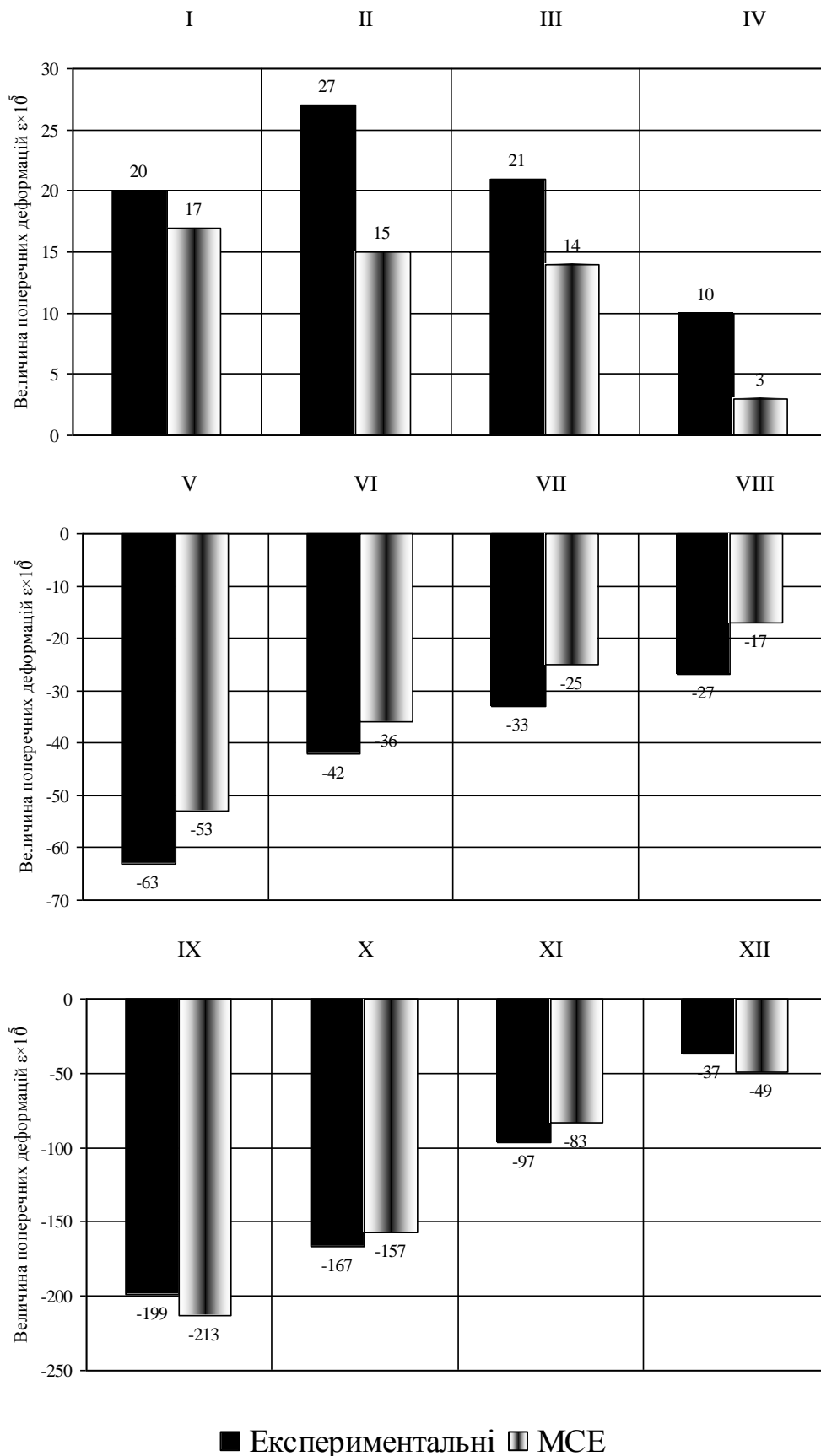


Рисунок 6 – Залежність поперечних деформацій від величини згинального моменту на приопорній ділянці при дії моменту  $M=80$  кНм

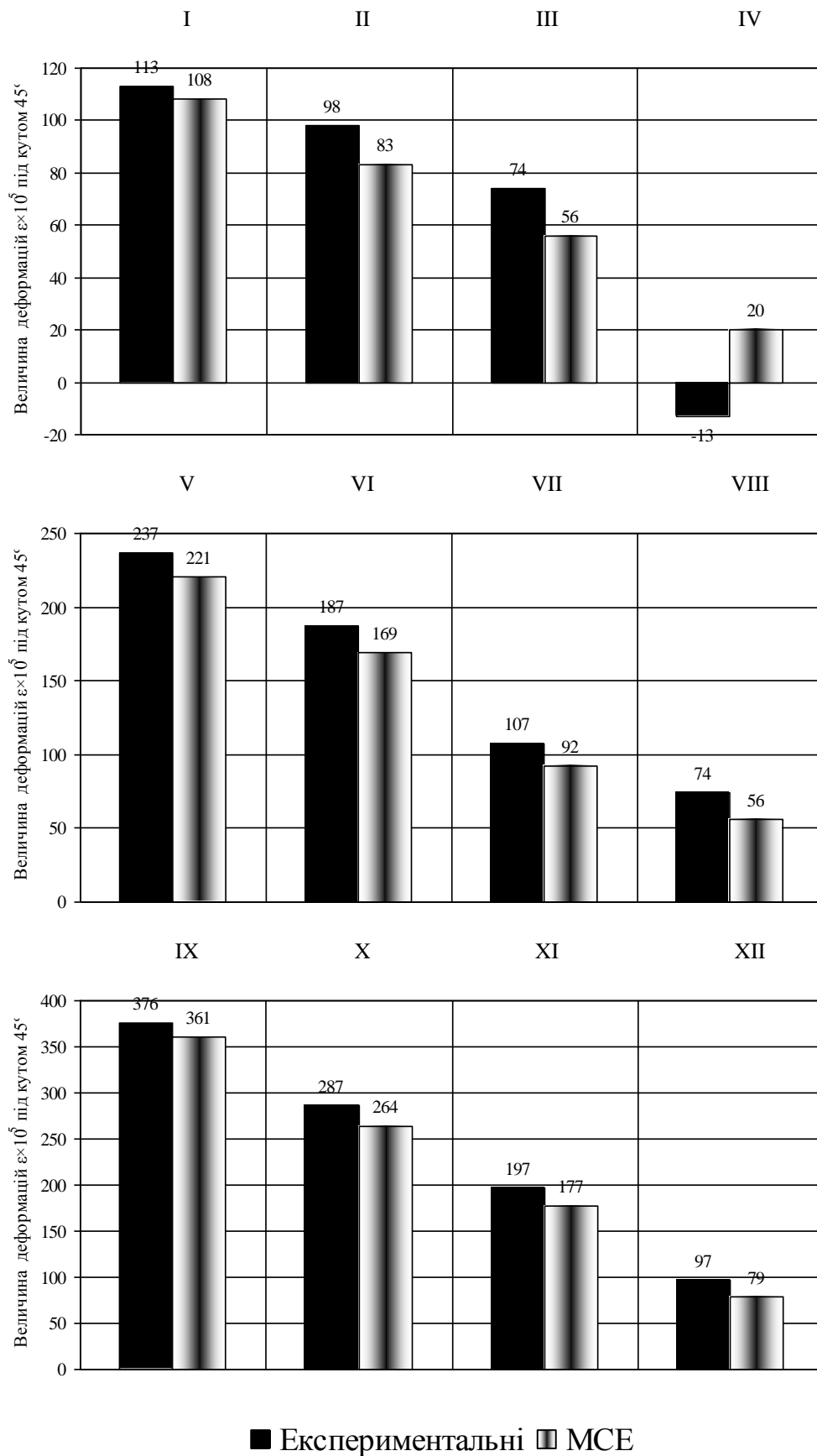


Рисунок 7 – Залежність деформацій, заміряних під кутом  $45^\circ$ , від величини згинального моменту на приопорній ділянці при дії моменту  $M=80$  кНм

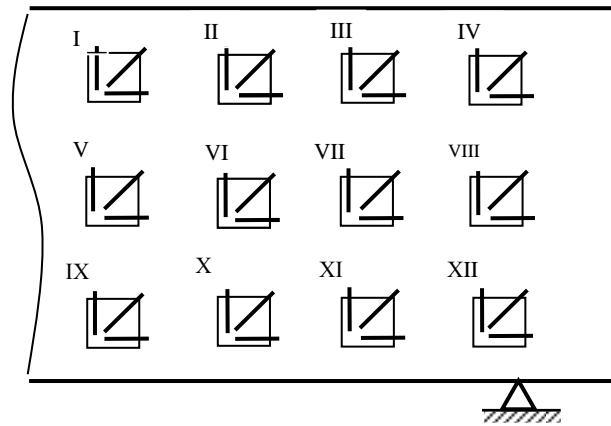


Рисунок 8 – Схема розташування розеток електротензорезисторів у приопорній частині зразка

Порівняння величини максимальних напружень у крайніх волокнах сталобетонної балки при різних схемах завантаження показало, що середня похибка між результатами, отриманими внаслідок розрахунку за МСЕ та теоретичними даними дорівнює 13%.

**Висновки.** За результатами проведених розрахунків було встановлено, що розподіл внутрішніх зусиль у сталобетонній балці залежить від способу прикладення сил. У даному випадку величина максимальних напружень у крайніх волокна зменшується в міру віддалення від центра балки. Унаслідок порівняння результатів установлено, що значення деформацій, отримані за допомогою MSC.Nastran, мають значну точність збігу з експериментальними.

#### *Література*

1. *Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції. / Л.І. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – 181 с.*
2. *Стороженко Л.І. Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій: Монографія / Л.І. Стороженко, В.М.*

*Тимошенко, О.В. Нижник, Г.М. Гасій, С.О. Мурза – Полтава: АСМІ, 2008.–262 с.*

3. *Гасій Г.М. Розрахунок вузлів сталезалізобетонної структурної конструкції за методом кінцевих елементів / Г.М. Гасій / Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 119 – 124.*
4. *Гасій Г.М. Розрахунок сталезалізобетонного структурного покриття за допомогою ПК / Г.М. Гасій / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2006. – Вип. 14. – С. 145 – 150.*
5. *Composite Construction in Steel and Concrete III, Proceedings of an Engineering Foudation Conference, Swabian Conference center Irsee, Germany. June 9 – 14, 1996, Edited by C.Dale Buckner and Bahram M.Shahrooz.*