

УДК 624.074:[624.012.4+624.014.2]

МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТРУКТУРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Л. І. СТОРОЖЕНКО, В.М. ТИМОШЕНКО, С.О. МУРЗА

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Постановка проблеми. Сталезалізобетонні структурні конструкції є комплексними, в них сумісно працюють і сталеві, і залізобетонні елементи. При цьому залізобетон використовується в основному для сприйняття зусиль стиску, а сталь – для сприйняття зусиль розтягу [4, 6].

Напружено-деформований стан сталезалізобетонної структурної конструкції при просторовій роботі відрізняється як від структурних, так і від просторових сталезалізобетонних конструкцій. Така конструкція є новою конструкцією, отже потребує дослідження напружено-деформованого стану. На сучасному етапі розвитку науки й техніки важко представити процес дослідження і проектування нових будівель та споруд без широкого використання програм скінчено-елементного аналізу.

Аналіз останніх досліджень. У зв'язку з розвитком числових методів розрахунку дану конструкцію можна досліджувати, застосовуючи метод скінчених елементів (МСЕ) [3]. Останнім часом розповсюдження набувають тривимірні механіко-математичних моделі, що враховують пружно-пластичне поведіння матеріалу. Однак, обчислювальні можливості МСЕ при рішенні просторових завдань механіки деформованого твердого тіла обмежені ступенем дискретизації досліджуваного об'єкта на скінченні елементи, тобто точність методу скінчених елементів значною мірою залежить від кількості останніх у розрахунковій системі. В існуючих програмних комплексах, як правило, рекомендують тривимірну нелінійну модель спрощувати, зводячи її до плоскої. Разом з тим мало дослідженими залишаються підходи до побудови нових об'ємних кінцевих елементів підвищеної точності, що дозволяють моделювати деформації й більші переміщення тонкостінних і товстостінних конструкцій на грубих сітках. Конструкція, що розглядається частково досліджена за допомогою МСЕ, в результаті чого було встановлено, що у вузлових з'єднаннях структури присутні локальні напруження [1, 2].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Для структурних систем, як і для інших просторових конструкцій, характерний складний просторовий перерозподіл зусиль від зовнішніх навантажень. В основу розрахунку за допомогою методу скінчених елементів покладено використання у якості основних невідомих переміщень і поворотів вузлів

розрахункової схеми. У зв'язку із цим ідеалізація конструкції виконана у формі, пристосованої до використання цього методу, а саме: система представлена у вигляді набору тіл стандартного типу (стрижнів, пластин, оболонок і т.д.), названих скінченними елементами й приєднаних до вузлів [5, 7]. Даний метод розрахунку використовується в різних програмних комплексах, основною задачею при розрахунку нових конструкцій є розробка та дослідження скінченно-елементної моделі конструкції.

Формулювання цілей статті. Метою статті є проведення аналізу скінченно-елементних моделей та впливу конструктивних особливостей на напружено-деформований стан сталезалізобетонних структурних конструкцій.

Виклад основного матеріалу. Сталезалізобетонна структурна конструкція має деякі конструктивні особливості, які можливо дослідити шляхом виконання чисельного експерименту з моделюванням НДС методом скінчених елементів:

- залізобетонна плита в складі сталезалізобетонної структурної конструкції одночасно працює на стиск, як елемент структури і на згин, як огорожуюча конструкція.

- використання вузлів кріплення залізобетонної плити до елементів структури, розроблених в [4], не завжди дозволяє відцентрувати вісі елементів, що призводить до виникнення ексцентриситетів.

- оскільки залізобетонна плита в складі сталезалізобетонної структурної конструкції є відносно тонкою в порівнянні з висотою конструкції в цілому, є необхідність визначити оптимальний тип кінцевого елемента за допомогою якого вона може моделюватися.

Також доцільно врахувати час на побудову і розрахунок конструкції представленої у вигляді скінченно-елементної моделі.

Для використання методу скінчених елементів необхідно побудувати скінченно-елементну модель. Побудову скінченно-елементної моделі необхідно розпочати з ідеалізації конструкції, що включає в себе зазначення основних розмірів, які можуть дещо відрізнятися від натурних, з метою надання регулярності і для скорочення завдання вихідної інформації та забезпечення аналізу результатів. Також для побудови скінченно-елементної моделі необхідно визначитись з типом і розміром скінченного елемента.

Тип скінченного елемента визначається його геометричною формою, правилами, що визначають залежність між переміщеннями вузлів кінцевого елемента й вузлів системи, фізичним законом, що визначає залежність між внутрішніми зусиллями й внутрішніми переміщеннями, і набором параметрів (жорсткостей), що входять в опис цього закону й ін.

При моделюванні сталезалізобетонної структурної конструкції було прийнято, що конструкція закріплена з обох кінців шарнірно.

Для оцінки впливу конструктивних особливостей на напружено-деформований стан сталезалізобетонних структурних конструкцій було прийнято п'ять варіантів моделей системи.

У розрахунках обрана конструкція розмірами 1,5х6 м в плані, та 0,75 м по висоті, товщина залізобетонної плити 60 мм. Переріз нижнього поясу прийнято з труби $\text{Ø}60$ мм та товщиною стінки 5 мм. Переріз розкосів прийнято з труби $\text{Ø}45$ мм та товщиною стінки 5 мм.

В *першому* випадку верхній пояс (залізобетонна плита) моделювався за допомогою пластин відповідної жорсткості розміром 1500х1500 мм, тобто розмірами на одну чарунку. Елементи нижнього поясу представлялися у вигляді стрижнів. Всі елементи є відцентровані у вузлах (рис. 1, а).

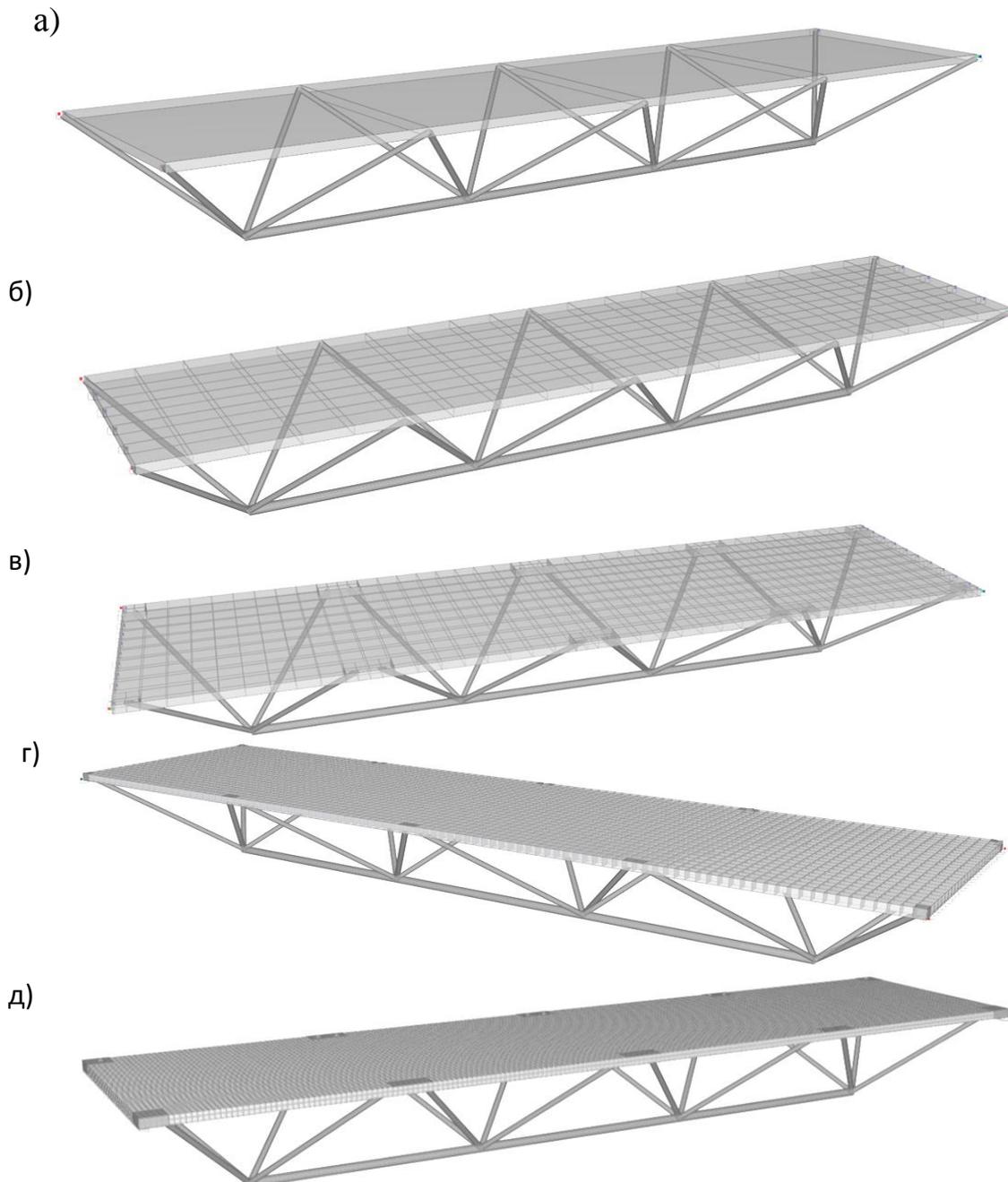


Рис. 1. Варіант ідеалізованої моделі:

а) Перший варіант ідеалізованої моделі б) Другий варіант ідеалізованої моделі в) Третій варіант ідеалізованої моделі г) Четвертий варіант ідеалізованої моделі д) П'ятий варіант ідеалізованої моделі

В *другому* випадку верхній пояс (залізобетонна плита) також моделювався за допомогою пластин відповідної жорсткості розміром 300x300 мм, тобто на одну чарунку припадає 25 елементів. Елементи нижнього поясу представлялися у вигляді стрижнів. Всі елементи є відцентровані у вузлах (рис. 1, б).

В *третьому* випадку верхній пояс (залізобетонна плита) також моделювався за допомогою пластин відповідної жорсткості розміром 150x150 мм, тобто на одну чарунку припадає 100 елементів. Елементи нижнього поясу представлялися у вигляді стрижнів. У місцях з'єднання стрижнів структури з плитою вводились додаткові пластини для врахування вузлових ексцентриситетів. Також в цих місцях введено кінцевий елемент – тверде тіло, що моделює закладні деталі (рис. 1, в).

В *четвертому* випадку верхній пояс (залізобетонна плита) моделювався за допомогою об'ємних елементів кубічної форми з розміром ребра 60 мм. Елементи структури центрувалися у рівні верхньої грані об'ємних елементів.

Закладні деталі моделювалися пластинами відповідної жорсткості, які були жорстко з'єднані з об'ємними елементами у рівні верхньої грані (рис. 1, г).

В *п'ятому* випадку верхній пояс (залізобетонна плита) моделювався за допомогою об'ємних елементів кубічної форми в два ряди з розміром ребра 30 мм. У місцях з'єднання стрижнів структури з плитою вводились додаткові пластини по верхній грані, що моделювали закладні деталі для врахування вузлових ексцентриситетів. Також в цих місцях введено кінцевий елемент – тверде тіло, що моделює жорстке з'єднання елемента структури з закладною деталлю (рис. 1, д).

Прийнято три види навантаження, однакове для всіх обраних моделей. Значення вузлових сил прийнято 10кН. (рис. 2):

Для зручності порівняння проводимо у формі графіків (рис 4). Основними параметрами є: найбільші значення зусиль в нижньому поясі, опорних розкосах, напруження в верхньому поясі, та прогини конструкції. Також наведено графік, що показує збільшення порядку системи рівнянь відповідно до ускладнення моделі (рис 3).

Порівнявши результати розрахунків можна зробити висновок, що параметри напружено-деформованого стану в моделях, в яких враховано виникнення ексцентриситетів у місцях з'єднання залізобетонної плити та елементів структури (3-тя, 5-та моделі) і ті, в яких це не враховано відрізняються досить суттєво, близько 12 %.

Аналізуючи результати моделювання залізобетонної плити та враховуючи отримані дані можна зробити висновок, що вона може моделюватись як за допомогою пластин (2-га модель) так і за допомогою об'ємних елементів (4-та модель).

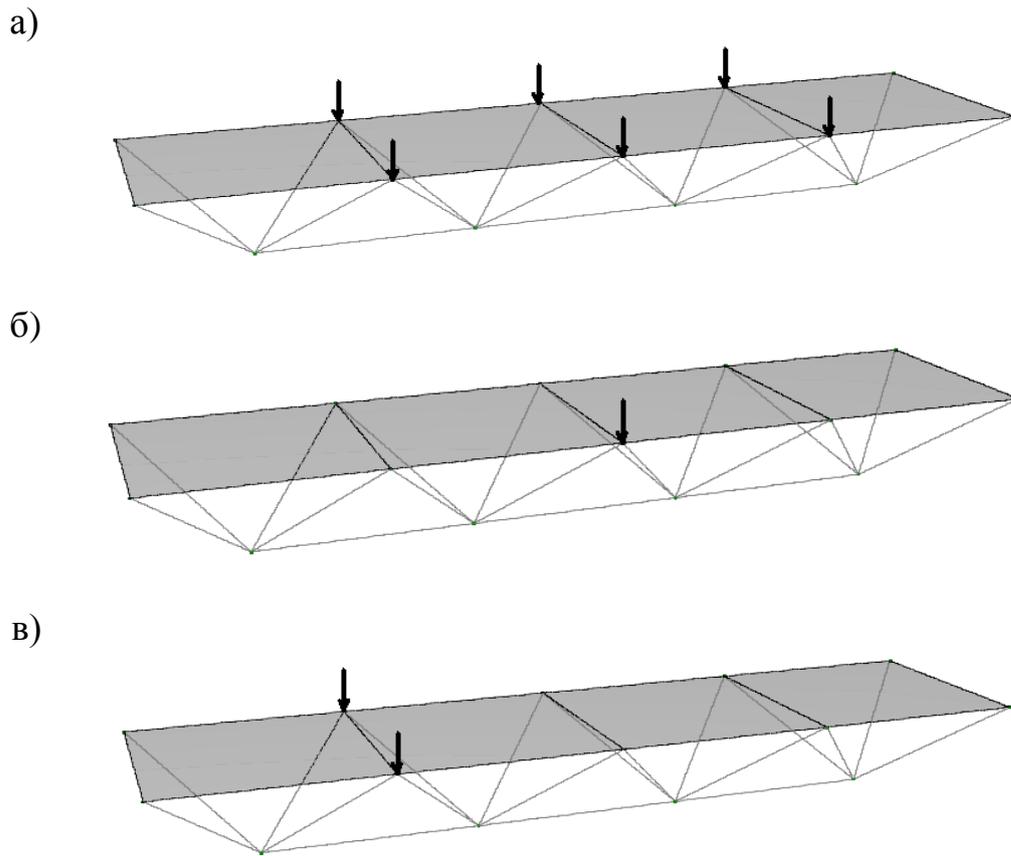


Рис. 2. Види завантаження:

а) Симетричне завантаження зосередженими силами; б) Несиметричне завантаження зосередженою силою; в) Несиметричне завантаження двома зосередженими силами

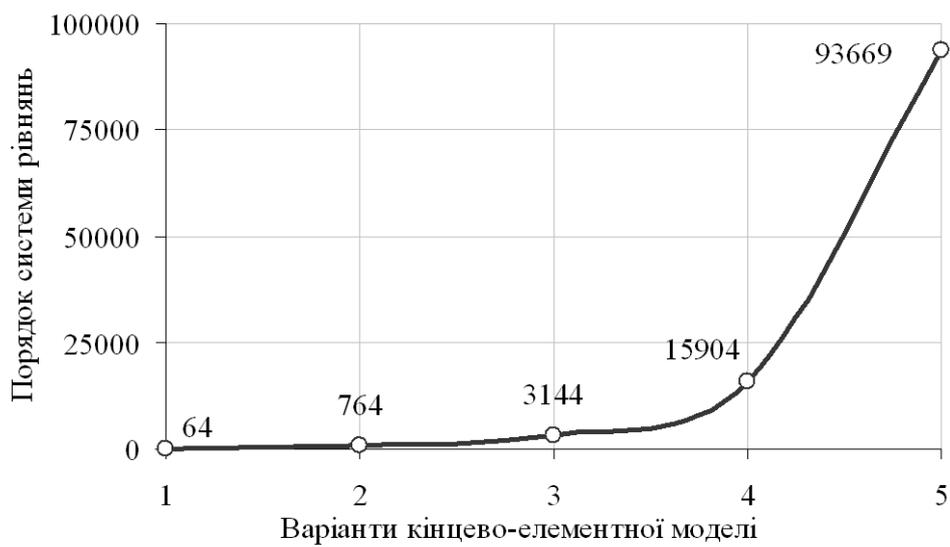


Рис. 3. Порядок системи рівнянь в прийнятих моделях

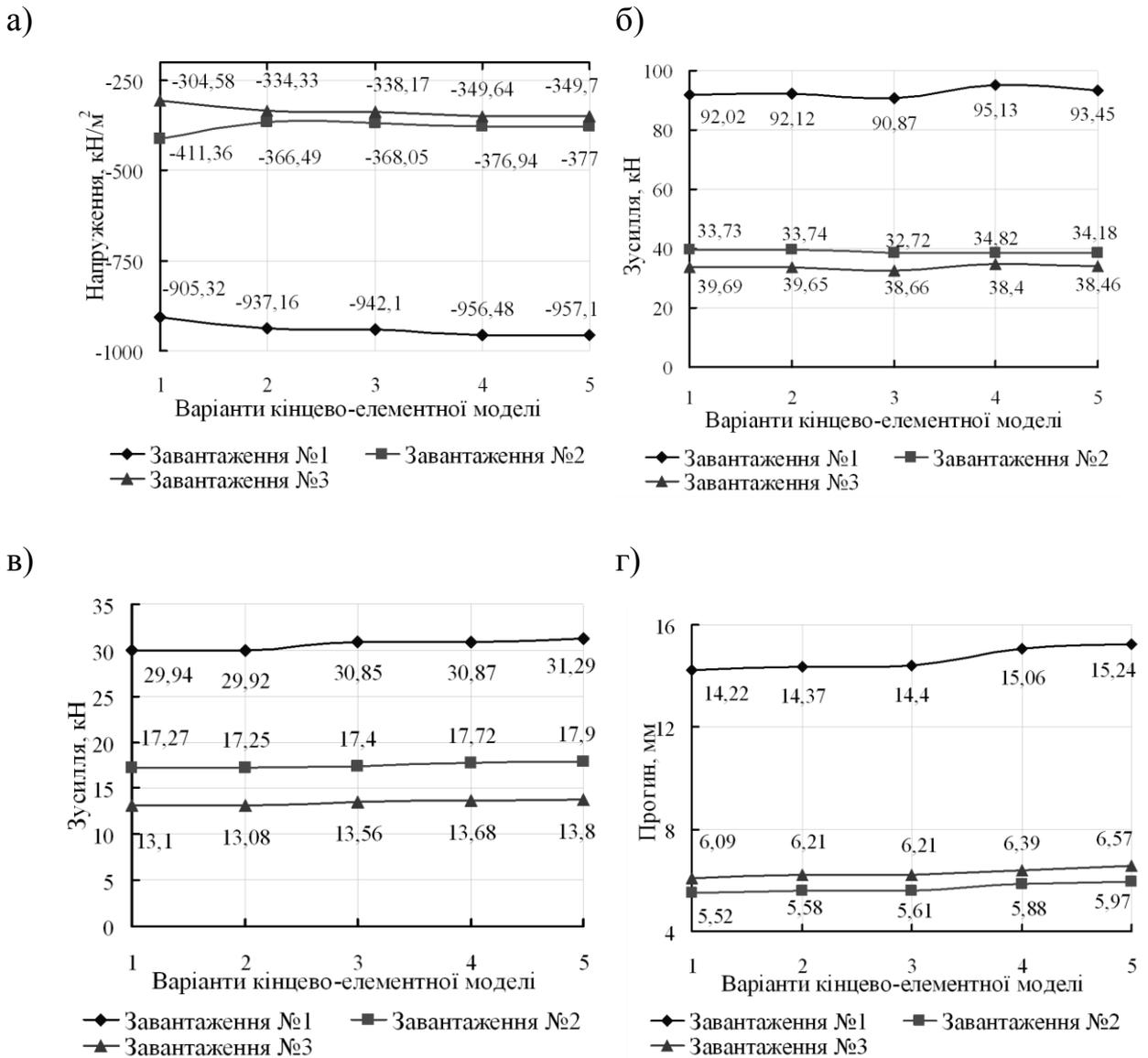


Рис. 4. Параметри напружено-деформованого стану:
 а) напруження в верхньому поясі, кН/м²; б) зусилля в нижньому поясі, кН; в) зусилля в опорних розкосах, кН; г) найбільші прогини конструкції, мм.

Подальший аналіз показав, що при моделювання дійсної роботи вузів з'єднання залізобетонної плити та елементів структури зусилля в нижньому поясі (3-тя та 5-та моделі) зменшуються, а зусилля в опорних розкосах зростають, в порівнянні з моделями, в яких всі елементи є відцентровані у вузлах (2-га та 4-та моделі) (рис. 3 - б, в).

Проведене дослідження типу скінченно-елементної моделі на параметри напружено-деформованого стану сталезалізобетонних структурних конструкцій

показало, що для інженерних розрахунків достатньо моделювати елементи структури як стрижні, а залізобетонну плиту як пластину з відповідною товщиною. Для більш детальних досліджень плиту слід моделювати об'ємними кінцевими елементами та потрібно моделювати закладні деталі у вигляді пластин.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. Городецкий А.С., Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: издательство “Факт”, 2005. – 344с.
4. Дослідження і проектування сталезалізобетонних структурних конструкцій / Л.І. Стороженко, В.М. Тимошенко, О.В. Нижник, Г.М. Гасій, С.О. Мурза. – Полтава: АСМІ, 2008. – 262 с.
5. Победря Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности: Учебное пособие - 2-е издание - М.: Изд-во МГУ, 1995 - 366 с.
6. Стороженко Л.І. Розрахунок закладних деталей сталезалізобетонної структурної конструкції при нерівномірному завантаженні / Л.І. Стороженко, С.О. Мурза // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Вип. 18. – Рівне, 2009. – С. 348 – 353.
7. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер – К.: ВВП "Компас", 2001. – 448 с.