

УДК 519.6+624.073.11:(624.012+624.014) DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.149.2014.82573>

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ЗІ  
СТАЛЕВИМ ОБРАМЛЕННЯМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ  
ЛІРА**

Д-ри техн. наук Л.І. Стороженко, О.В. Нижник, асист. О.В. Клецов

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ  
СО СТАЛЬНЫМ ОБРАМЛЕНИЕМ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО  
КОМПЛЕКСА ЛИРА**

Д-ры техн. наук Л.И. Стороженко, О.В. Нижник, ассист. О.В. Клецов

**RESEARCH OF STRESSES AND STRAINS OF REINFORCED CONCRETE SLABS  
WITH STEEL FRAMING BY SOFTWARE PACKAGE LIRA**

Doct. of techn. sciences L.I. Storozhenko, A.V. Nizhnik, assist. O.V. Klestov

*Ми представляємо розрахунок залізобетонної плити зі сталевим обрамленням у програмному комплексі ЛІРА. В статті досліджується плита оперта по контуру та завантажена у чотирьох точках. В процесі розрахунку враховано фізичну нелінійність роботи матеріалів конструкції. Проведено аналіз відповідності результатів розрахунку плит експериментальним даним*

**Ключові слова:** плита, сталезалізобетон, модель, розрахунок, рама, напруження, деформації.

*Мы представляем расчет железобетонной плиты со стальным обрамлением в программном комплексе ЛИРА. В статье исследуется плита, опертая по контуру и нагруженная в четырех точках. В процессе расчета учтена физическая нелинейность работы материалов конструкции. Проведен анализ соответствия результатов расчета плит экспериментальным данным.*

**Ключевые слова:** плита, сталежелезобетон, модель, расчет, рама, напряжения, деформации.

*We produce the calculation of reinforced concrete slab with steel framing by software package LIRA. The reinforced concrete slab is the composite structure of steel and reinforced concrete. It consists of reinforced concrete slab which connected with steel frame by anchorage. The two-way slab loaded in four points is being investigated in this article. There numerical methods are in the heart of software package LIRA. The results of calculation are: direct stress of concrete and reinforcement, shear stress of concrete and framing and deformations of all structure. The process of calculation considers the physical non-linearity of materials behavior of structure. The analysis of accordance the results of calculation of slabs to experimental data has been carried.*

**Keywords:** slab, composite structures of steel and reinforced concrete, model, calculation, frame, stress, strain

**Вступ.** У ході проектування конструкцій часто доводиться стикатися із проблемою розрахунку систем, що мають складну геометричну конфігурацію і нерегулярну фізичну структуру. Обчислювальна техніка дозволяє виконувати такі розрахунки за допомогою наближених чисельних методів. Нині існує велика кількість програмних комплексів для розрахунку конструкцій. Більшість з них вирішує задачу по визначенню внутрішніх напружень і деформацій методом кінцевих елементів.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Напружено-деформований стан залізобетонних плит зі сталевим обрамленням раніше досліджувався числовими методами без урахування нелінійності роботи матеріалів конструкції. Їх урахування в розрахунку методами скінченних елементів за допомогою програмних комплексів дозволить дослідити напруження та деформації таких плит у пружній стадії їх роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одночасно з розвитком загальних моделей механіки залізобетону як фізично нелінійного анізотропного матеріалу, що володіє здатністю до тріщиноутворення, розвивались і методи розрахунку згинальних плит з використанням стандартних гіпотез теорії згину. Слід зазначити, що перші методологічні обґрунтування деформаційних методів були викладені в роботах Гвоздева О.О. [1], Крилова С.М. В цих роботах залізобетонні плити розглядалися як ортотропні, а арматурні стрижні були

направлені вздовж головних осей симетрії. Дослідженню роботи зокрема сталезалізобетонних плит присвячені роботи R.P. Johnson [2].

В роботі Городецького О.С. [3] залізобетонні плити розглядаються як анізотропні із фізично нелінійного матеріалу. Фізичні рівняння згину отримуються за допомогою моделювання процесу деформування малого елемента, що вирізаний з серединної поверхні.

Шарова кінцево-елементна модель для плит та оболонок суттєво розвинута Карпенком М.І. [4], а також використана в роботах Клованіча С.Ф. [5, 6].

Розрахунок конструкцій методом скінченних елементів за допомогою систем автоматизованого проектування викладено в роботах Барабаш М.С. [7]. Також в роботі Нижника О.В. [8] було досліджено напружено-деформований стан залізобетонних плит зі сталевим обрамленням за допомогою програмного комплексу SCAD з урахуванням лінійної роботи матеріалів конструкцій.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою поставлених досліджень є дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних плит зі сталевим обрамленням з урахуванням фізичної нелінійності роботи матеріалів.

**Основна частина дослідження.** Залізобетонна плита зі сталевим обрамленням [9] складається з залізобетонної плити та сталевих обрамлення, що з'єднуються між собою за допомогою анкерних засобів (рис. 1).

Дослідження розпочинається з прийняття розрахункової моделі (рис. 2) у програмному комплексі ЛІРА 9.6.

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

Залізобетонна плита моделювалася за допомогою об'ємних елементів розмірами 1/50 – 1/120 довжини плити у плані і 1/5 товщини плити по висоті. Сталеве обрамлення моделювалось пластинами розміром 10x10мм. Армування моделювалось у вигляді об'ємних елементів

з фізично нелінійними характеристиками бетону та арматури та відповідним відсотком армування. Розрахункова модель оперта шарнірно по контуру. При моделюванні зразків використовуються елементи типу 236, 244 та 261.

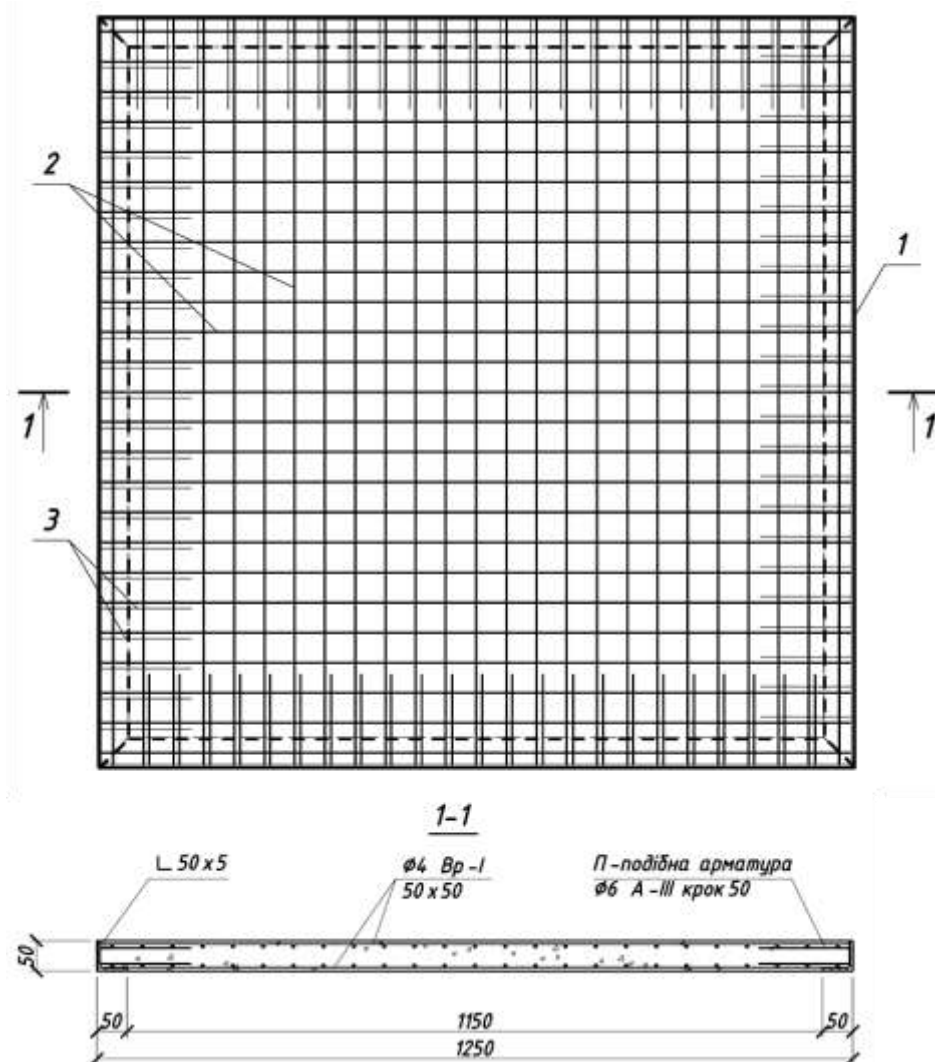


Рис. 1. Залізобетонна плита зі сталевим обрамленням (зразок ПБ50-1)



Рис. 2. Розрахункова модель зразка ПБ50-1

Згідно з експериментальними дослідженнями [10] у даній статті

досліджується НДС зразка серії ПБ50-1 розмірами 1250x1250x50 мм, з бетону

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

класу C25/30 армованого арматурою класу B500 та обрамленого прокатними кутиками 50x50x5 зі сталі C245. Несуча здатність зразка 182кН розподілена на 4 точки 10x10см у плані. При моделюванні зразку ПВ50-1 було прийнято, що

конструктивні елементи мають такі фізико-механічні властивості матеріалів, що задавались за кусково-лінійним законом:

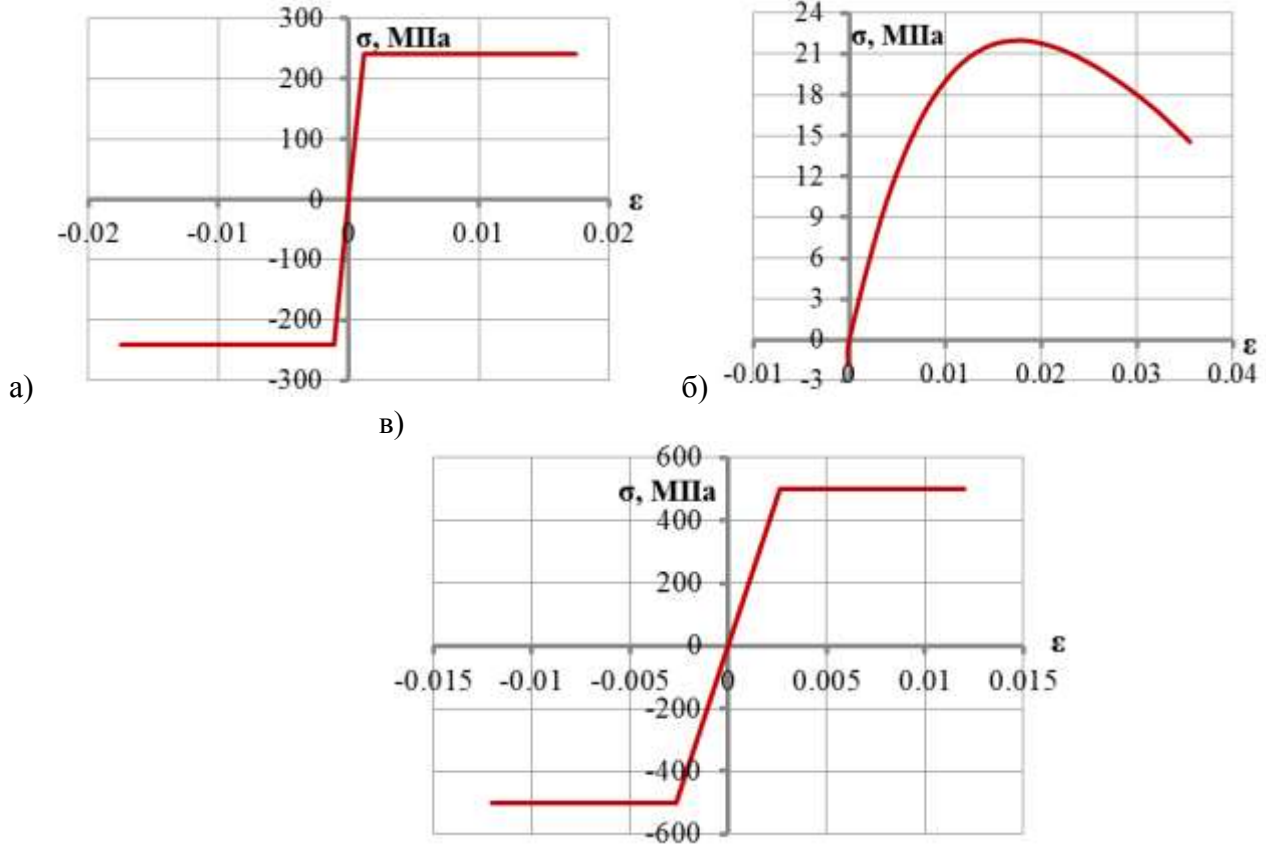


Рис. 3. Діаграми роботи матеріалів:  
а) сталь C245; б) бетон кл. C25/30; в) арматура кл. B500

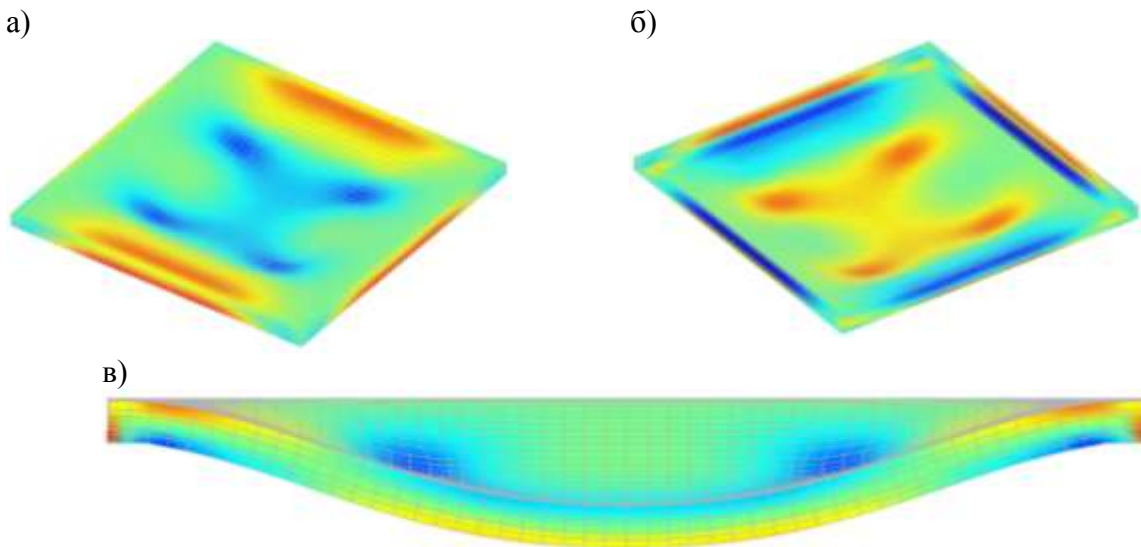


Рис. 4. Ізополя нормальних напружень плити  $\sigma_x$ , МПа:  
а) вигляд зверху, б) вигляд знизу, в) поперечний розріз

Результатами розрахунку моделі зразка ПВ 50-1 в програмному комплексі ЛІРА є ізополя нормальних напружень плити (рис.4), нормальних напружень арматури (рис. 5), дотичних напружень (рис. 6) та прогинів (рис. 7).

Зміна знаку нормальних напружень біля країв зразка на протилежний свідчить про наявність моменту на опорі, що виникає внаслідок опору крученню кутиків обрамлення, що також виявлено в ході експериментальних досліджень.

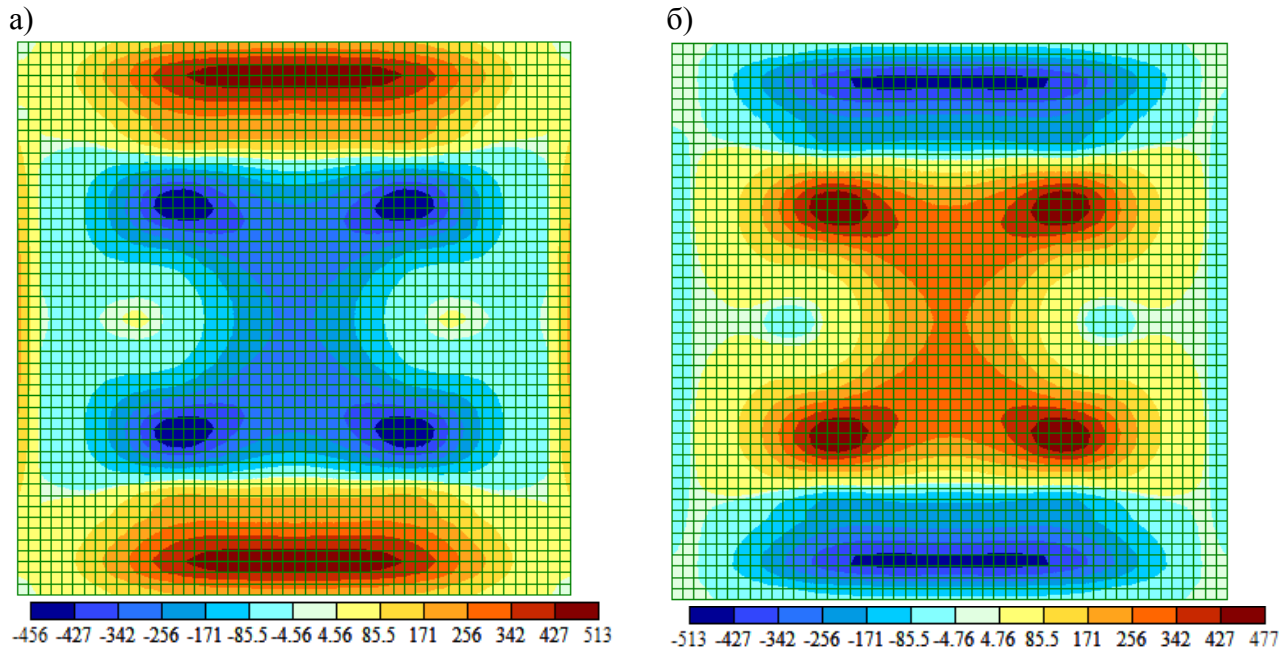


Рис. 5. Ізополя нормальних напружень арматури  $\sigma_x$ , МПа:  
а) верхнє армування, б) нижнє армування

Нормальні напруження в арматурі моделі досягають межі текучості арматурної сталі, що свідчить про вичерпання несучої

здатності зразка, що відповідає експериментальним даним для заданого навантаження.

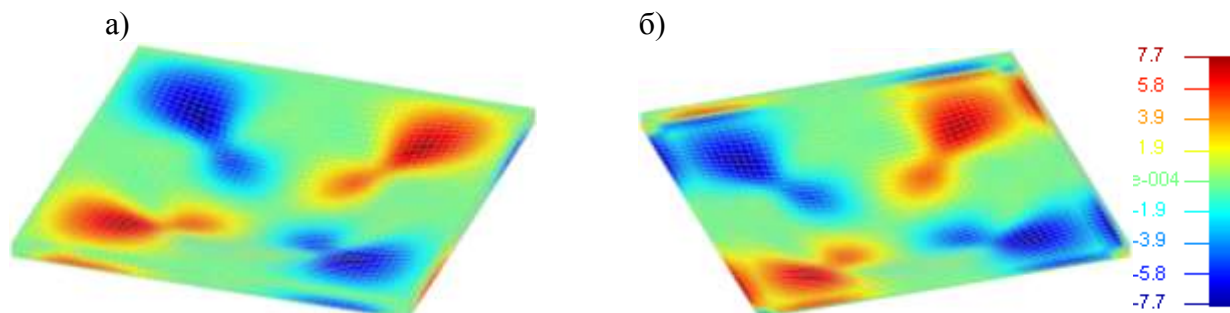


Рис. 6. Ізополя дотичних напружень плити  $\tau_{xy}$ , МПа:  
а) вигляд зверху, б) вигляд знизу

Збільшення дотичних напружень у кутах конструкції свідчать про опір крученню сталевих кутиків обрамлення плити.

Прогини розрахункової моделі зразка досягли 17мм. Деформована схема моделі

зразка наближена до деформованої схеми жорсткого защемленої плити по контуру, що також свідчить про наявність опорного моменту утвореного кутиком обрамлення

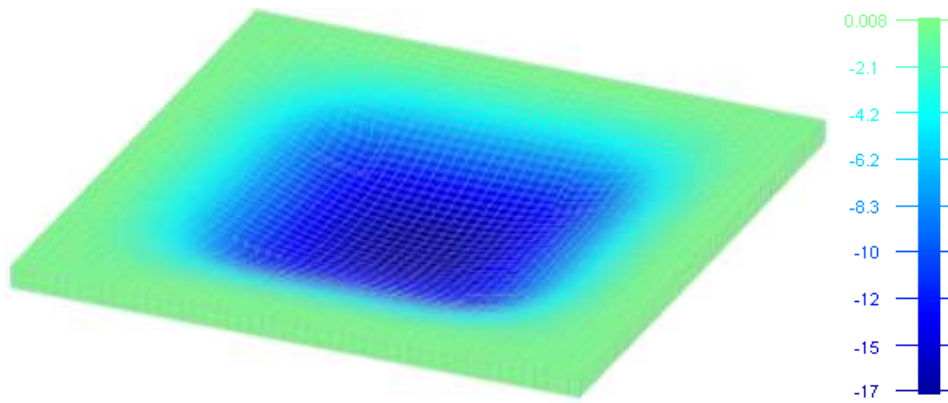


Рис. 7. Ізополя вертикальних переміщень плити, мм

Таблиця 1

Порівняльний аналіз результатів розрахунку

Марка зразка	Межа текучості арматури, МПа	Напруження у ПК ЛПА, МПа	$\Delta$ , %	Прогин за експериментальними даними, мм	Прогин за розрахунком у ПК ЛПА, мм	$\Delta$ , %
ПВ50-1	500	513	2,5	17,6	17	3,4

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Результати досліджень напружено-деформованого стану моделі конструкції сталезалізобетонного зразка показують, що включення в роботу сталевих обрамлень спричиняє перерозподіл напружень та деформацій по всій конструкції. Так, з ізополей напружень та деформаційної моделі видно, що нормальні напруження змінюють свій знак

біля кутиків обрамлення, що свідчить про наявність моменту на опорі, який відповідно підвищує міцність і жорсткість конструкції в цілому. Результати розрахунків моделі зразка ПВ50-1 за допомогою САПР збігається з результатами експериментальних досліджень у межах 3,4%, тобто ПК ЛПА дозволяє з високою точністю оцінити напружено-деформований стан залізобетонних плит зі сталевим обрамленням.

### Список використаних джерел

1. Гвоздев, А.А. Прочность, структурные изменения и деформации бетона [Текст] / А.А. Гвоздев и др.. – М.: Госстройиздат, 1978. – 296 с.
2. Johnson, R.P. Composite structures of steel and concrete - beams, slabs, columns, and frames for buildings [Текст] / R.P. Johnson // Blackwell Publishing: Wiley-Blackwell, 2004. – 248 p.
3. Городецкий, А.С. Учет нелинейной работы железобетонных конструкций в практических расчетах [Текст] / А.С. Городецкий, М.С. Барабаш // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. Трудов. – Дн-вск: ПГАСА, 2014. – Вып.77. – С.54-59.
4. Карпенко, Н.И. Развитие методов проектирования строительных конструкций, зданий и сооружений [Текст] / Н.И. Карпенко, В.И. Травуш // Сб. ст. Международ. науч.-техн. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». Пенза, 2002. – С.5 – 8.



5. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций [Текст] / С.Ф. Клованич, Д.И. Безушко // Одесса: ОНМУ, 2009. – 90 с.
6. Клованич, С.Ф. Пространственный анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных плит при продавливании методом конечных элементов в нелинейной постановке [Текст] / С.Ф. Клованич // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-техн. збірник наук. праць. – Вип. 74: В 2-х кн..: Книга 1. – Київ, ДП НДІБК, 2011. – С. 691 – 695.
7. Барабаш, М.С. Методи комп'ютерного моделювання для розрахунку сталезалізобетонних плит перекриття [Текст] / М.С. Барабаш, О.І. Лапенко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – ПолНТУ. – 2012, с. 12 – 17.
8. Нижник, О.В. Безбалкові та часторебристі сталезалізобетонні перекриття [Текст] / О.В. Нижник // Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2012. – 380 с.
9. Стороженко, Л.І. Збірна залізобетонна плита перекриття зі сталевим обрамленням [Текст] / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.В. Нижник // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. №50. – Дн-вск., ПГАСА, 2009. – С. 538 – 543.
10. Сторожеко, Л.І. Експериментальні дослідження плит перекриття зі сталевим обрамленням у порівнянні зі звичайними залізобетонними плитами [Текст] / Л.І. Стороженко, О.В. Нижник, О.В. Клестов, С.А. Гапченко, О.О. Горб, О.Ф. Дячук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Вип. № 25. – Рівне, Національний університет водного господарства та природокористування, 2013. – С. 454– 465.

---

Стороженко Леонід Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Нижник Олександр Васильович, д-р техн. наук, професор кафедри організації і технології будівництва та охорони праці, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Клестов Олег Володимирович, асистент кафедри організації і технології будівництва та охорони праці, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Тел.: (099) 25-86-146. E-mail: klov.88@mail.ru.

Storogenko Leonid Ivanovich, doct. of techn. sciences, professor of department of metal, timber and plastic structures”, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk.

Nyzhnyk Alexander Vasilevich , professor of department of organization and technology of building and health safety”, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk.

Klestov Oleg Volodimirovich, assistant of department of organization and technology of building and health safety”, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. Tel.: (099) 25-86-146. E-mail: klov.88@mail.ru.