

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ЗІ СТАЛЕВИМ ОБРАМЛЕННЯМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «ЛІРА»

Наведено розрахунок залізобетонної плити зі сталевим обрамленням за допомогою системи автоматизованого проектування числовим методом та його результати. Досліджено плиту, оперту по контуру. У процесі розрахунку враховано фізичну нелінійність роботи матеріалів конструкції. Виконано аналіз відповідності результатів розрахунку плит експериментальним даним.

Ключові слова: плита, сталезалізобетон, модель, розрахунок.

Вступ. У процесі 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 числових методів. Нині існує велика кількість програмних комплексів для розрахунку конструкцій. Більшість з них розв'язує задачу з визначення внутрішніх напружень і деформацій методом скінченних елементів.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Одночасно з розвитком загальних моделей механіки залізобетону як фізично нелінійного анізотропного матеріалу, що має здатність 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 О.О. Гвоздева [1], С.М. Крилова. У цих роботах залізобетонні плити розглядалися як ортотропні, а арматурні стрижні були направлені вздовж головних осей симетрії. Дослідженню роботи, зокрема, сталезалізобетонних плит присвячені праці R.P. Johnson [2].

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

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

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

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Напружено-деформований стан елементів збірних сталезалізобетонних перекриттів раніше досліджувався без урахування нелінійності роботи матеріалів конструкції.

Постановка завдання. Метою поставлених досліджень є вивчення напружено-деформованого стану залізобетонних плит зі сталевим обрамленням із урахуванням фізичної нелінійності роботи бетону.

Основний матеріал і результати. Залізобетонна плита зі сталевим обрамленням [9] складається із залізобетонної плити та сталеві рами, що з'єднуються між собою за допомогою анкерних засобів (рис. 1).

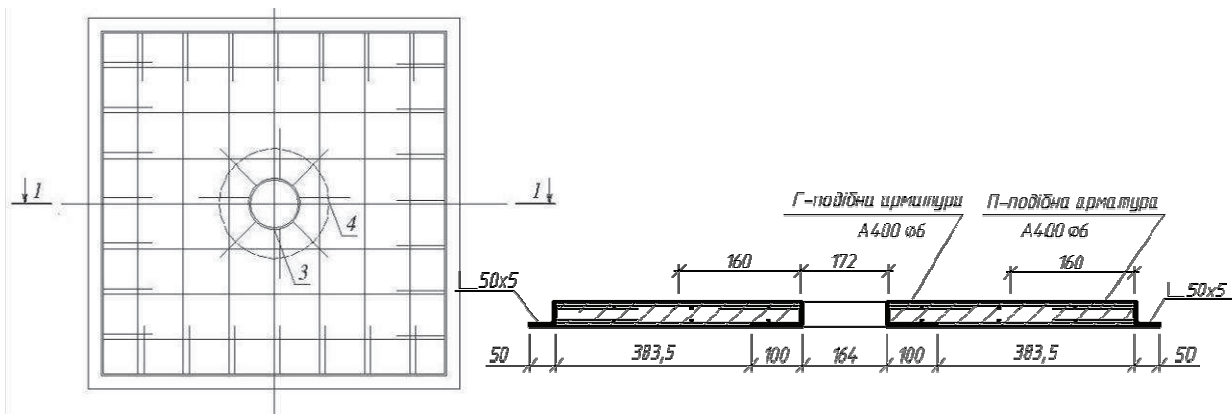
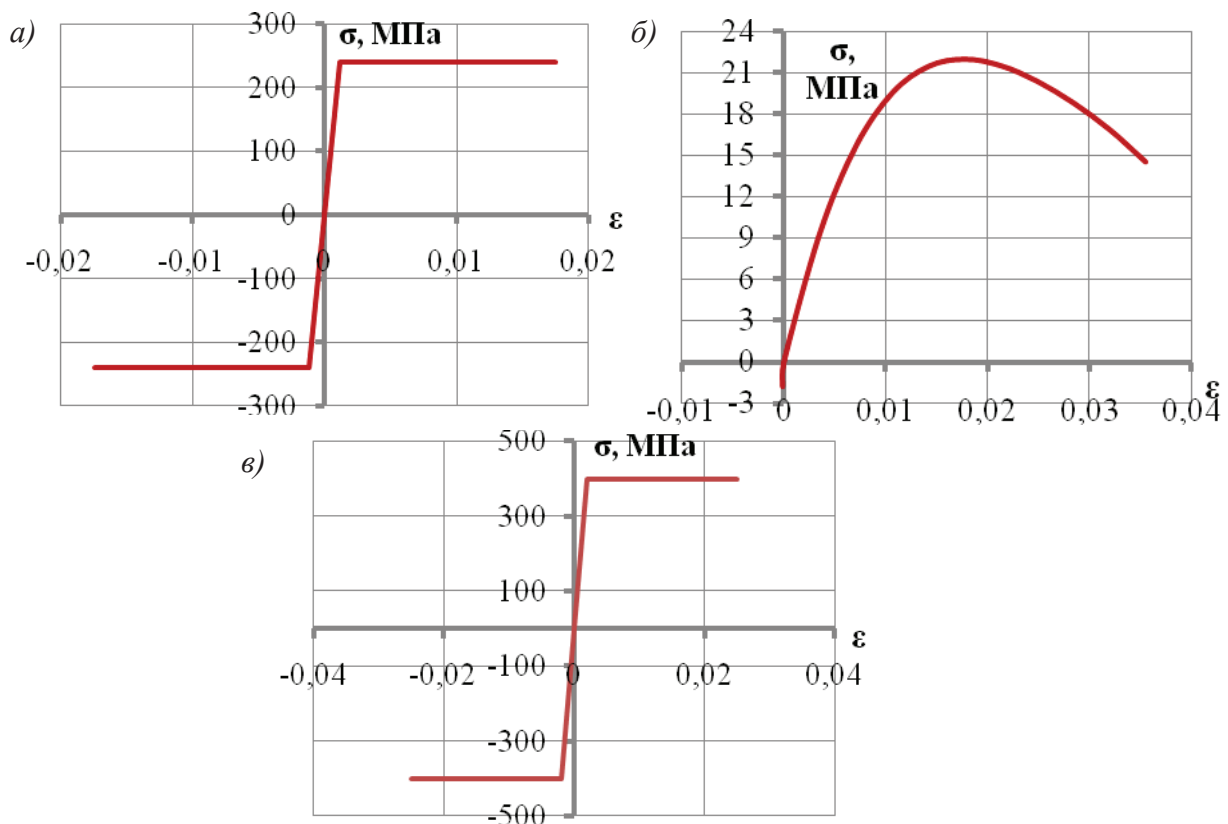


Рисунок 1 – Залізобетонна плита зі сталевим обрамленням (зразок ПН50-1)

Дослідження розпочинається з прийняття розрахункової моделі (рис. 3) у програмному комплексі «ЛІРА 9.6». Залізобетонна плита моделювалася за допомогою об'ємних елементів розмірами 1/50 – 1/120 довжини плити у плані й 1/10 товщини плити по висоті. Сталеве обрамлення моделювалося пластинами розміром 10x10 мм. Арматування моделювалось у вигляді об'ємних елементів з фізично нелінійними характеристиками бетону та арматури і відповідним відсотком армування.

Згідно з експериментальними дослідженнями [9] у статті досліджується НДС зразка серії ПН50-1 розмірами 1200x1200x50 мм з бетону класу С25/30, армованого арматурою класу А400 та обрамленого прокатними кутиками 50x50x5 зі сталі С245. При моделюванні зразка ПН50-1 було прийнято, що конструктивні елементи мають такі фізико-механічні властивості матеріалів, що задавалися за кусково-лінійним законом (рис. 2).



**Рисунок 2 – Діаграми роботи матеріалів:
а) сталь С245; б) бетон кл. С25/30; в) арматура кл. А400**

При моделюванні зразків використовуються елементи типу 234, 236, 242 та 244.

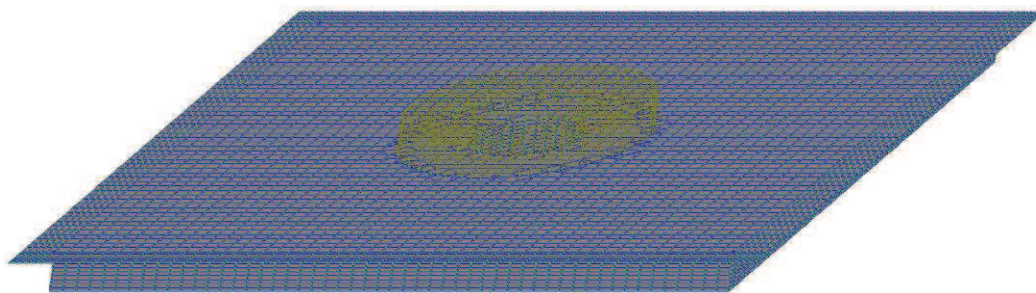
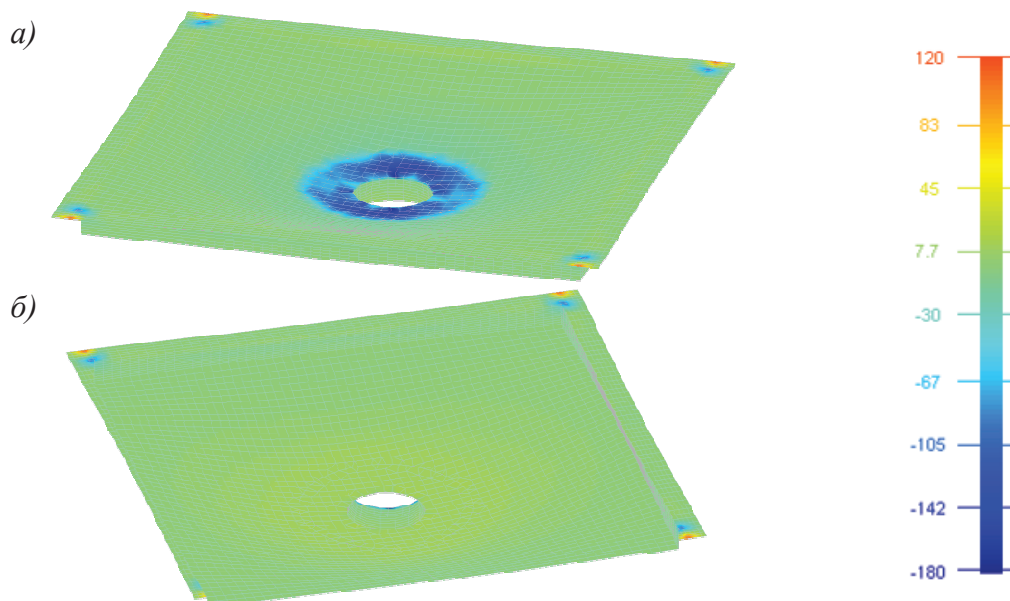
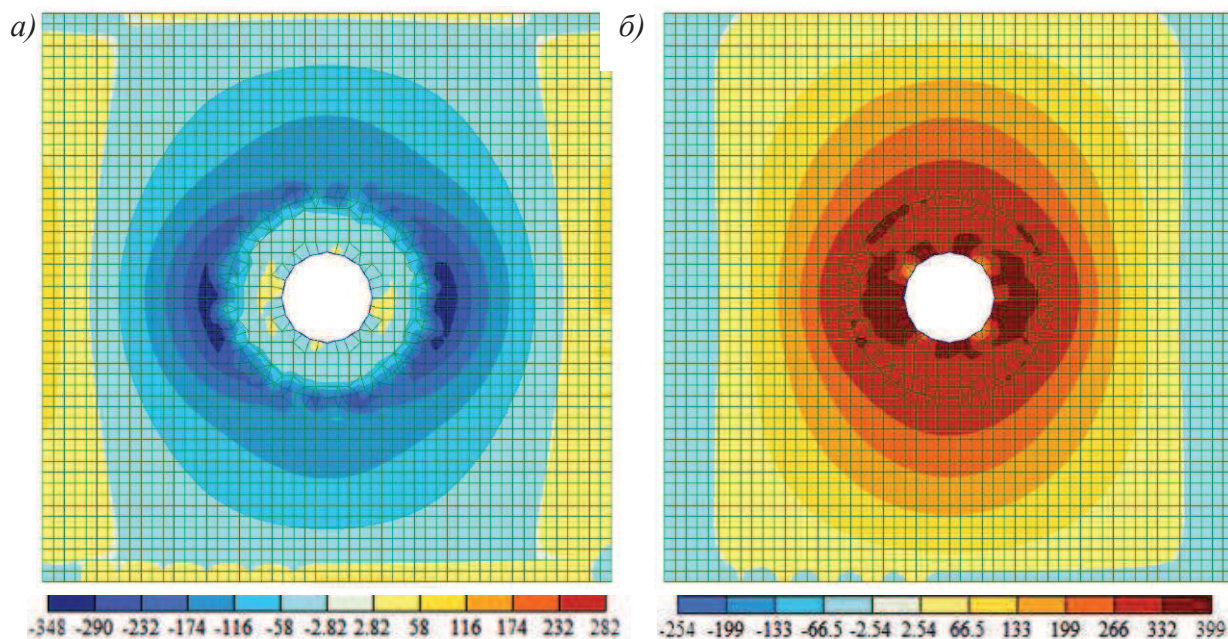


Рисунок 3 – Розрахункова схема плити

Результатами розрахунку моделі зразка ПН 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).



**Рисунок 4 – Ізополя нормальних напружень N_x , МПа, зразка ПН50-1:
а) вигляд зверху; б) вигляд знизу**



**Рисунок 5 – Ізополя нормальних напружень арматури N_x , МПа, зразка ПН50-1:
а) верхнє армування; б) нижнє армування**

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

Нормальні напруження в арматурі моделі досягають межі текучості арматурної сталі, що свідчить про вичерпання несучої здатності зразка, що відповідає експериментальним даним для заданого навантаження.

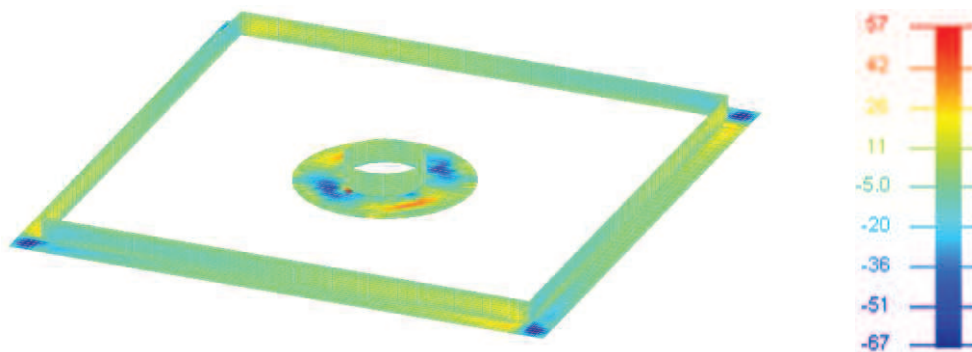


Рисунок 6 – Ізополя дотичних напружень обрамлення T_{xy} , МПа, зразка ПН50-1

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

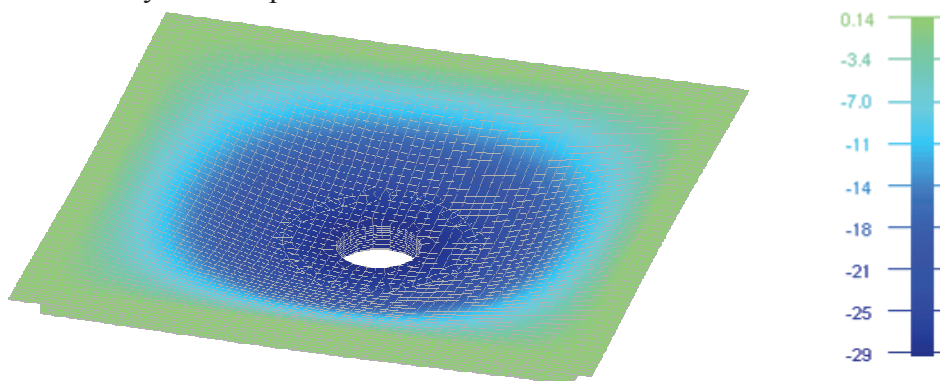


Рисунок 7 – Ізополя вертикальних переміщень плити, мм

Прогини розрахункової моделі зразка досягли 28,7 мм. Деформована схема моделі зразка наближена до деформованої схеми жорстко зацемленої плити по контуру, що також свідчить про наявність опорного моменту, утвореного кутиком обрамлення.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз результатів розрахунку

Марка зразка	Межа текучості арматури, МПа	Напруження у ПК «ЛПРА», МПа	Δ , %	Прогин за експериментальними даними, мм	Прогин за розрахунком у ПК «ЛПРА», мм	Δ , %
ПН50-1	400	399	0,3	27,5	28,7	4,2

Висновки. Результати досліджень напружено-деформованого стану моделі конструкції сталезалізобетонного зразка показують, що включення в роботу сталевих кутиків обрамлення спричиняє перерозподіл напружень і деформацій по всій конструкції. Так, з ізополів 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 ПН50-1 за допомогою САПР збігаються з результатами експериментальних досліджень у межах 4,2%, тобто ПК «ЛПРА» дозволяє з високою точністю оцінити напружено-деформований стан залізобетонних плит зі сталевим обрамленням.

Література

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. – Д.: 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. – Вып. 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). Вып. № 3(33). – Полтава: ПолтНТУ. – 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. – Д.: ПГАСА, 2009. – С. 538 – 543.
10. 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. Вып. № 25. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2013. – С. 454 – 465.

Л.І. Стороженко, д.т.н., проф.

А.В. Нижник, д.т.н., проф.

О.В. Клестов, ассистент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ СО СТАЛЬНЫМ ОБРАМЛЕНИЕМ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ЛИРА»

Приведен расчет железобетонной плиты со стальным обрамлением при помощи системы автоматизированного проектирования численным методом и его результаты. Исследована плита, опертая по контуру. В процессе расчета учтена физическая нелинейность работы материалов конструкции. Проведен анализ соответствия результатов расчета плит экспериментальным данным.

Ключевые слова: плита, сталежелезобетон, модель, расчет.

*L.I. Storozhenko, D.Sc., Professor
A.V. Nizhnik, D.Sc., Professor
O.V. Klestov, Assistant
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE SLABS WITH STEEL FRAMING BY SOFTWARE PACKAGE «LIRA»

The calculation of reinforced concrete slab with steel framing by CAD system with numerical methods and its results are shown. The two-way slab is being investigated in this article. 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.*

*Надійшла до редакції 29.09.2014
© Л.І. Стороженко, О.В. Нижник, О.В. Клестов*