

**РОЗРАХУНОК ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ЗІ СТАЛЄВИМ
ОБРАМЛЕННЯМ ЧИСЕЛЬНИМ МЕТОДОМ**

**Стороженко Л.І., д.т.н., проф., Нижник О.В., к.т.н. с.н.с.,
Клестов О.В., асп.**

*Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, Україна*

При проектуванні конструкцій постійно доводиться стикатися із проблемою розрахунку систем, що мають складну геометричну конфігурацію й нерегулярну фізичну структуру. Обчислювальна техніка дозволяє виконувати такі розрахунки за допомогою наближених чисельних методів. Нині існує велика кількість вітчизняних та закордонних програмних комплексів для розрахунку залізобетонних плит. Більшість з них вирішує задачу по визначенню внутрішніх зусиль в плитах з використанням технічної теорії згину пластин методом кінцевих елементів (МКЕ).

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, 2], Крилова С.М. В цих роботах залізобетонні плити розглядались як ортотропні, а арматурні стрижні були направлені вздовж головних осей симетрії. Згинальні жорсткості по осям ортотропії визначались за теорією Мурашева В.І.. В роботах Бондаренко В.М. [3 – 4], Шагіна О.Л. запропоновано оцінювати напружено-деформований стан залізобетонних плит з урахуванням тріщиноутворення, нелінійності й нерівномірності деформування методом інтегрального модуля деформацій. При цьому задача зводиться до розрахунку лінійно деформованої плити з перемінною жорсткістю, що еквівалентна жорсткості нелінійно-деформованої залізобетонної плити. Рішення досягалося в чисельному вигляді методом кінцевих різниць послідовними наближеннями.

В роботі Городецького О.С. 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. [5, 6], а також використана в роботах Клованіча С.Ф. [7, 8]. Основні залежності елемента будуються на базі загальних підходів трьохмірної теорії пружності, відмінною особливістю його являється та обставина, що в напрямку товщини використовується лінійна інтерполяція переміщень, яка відповідає гіпотезі про прямолінійність нормалі. За допомогою стандартних перетворень окремі шари з використанням гіпотези про відсутність нормальних до середньої поверхні напружень розглядаються як ті, що працюють в умовах плоскої деформації.

Найбільш близьку реальну роботу конструкції можна змоделювати, вирішуючи об'ємну задачу теорії пружності. В об'ємній розрахунковій схемі бетон моделюється об'ємними елементами, сталеве обрамлення – елементами оболонки, а арматура – стрижневими елементами.

Метою даної статті є побудова і розрахунок математичної моделі залізобетонної плити зі сталевим обрамленням методом кінцевих елементів на ЕОМ, отримати ізополя головних напружень та деформованої схеми плити.

Відомо, що сталезалізобетонна конструкція складається із залізобетонної плити та поєднаної з нею в одне ціле сталеві рами по контуру. Така конструкція є комплексною; її особливістю є те, що сталеві рами в ній працюють сумісно із залізобетонною плитою, при цьому рама виконує функцію незнімної опалубки (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд залізобетонної плити зі сталевим обрамленням, зразок ПН 75-1

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

Тип кінцевого елемента визначається за його геометричною формою, правилами, що характеризують залежність між переміщеннями

вузлів кінцевого елемента й вузлів системи, фізичним законом, який визначає залежність між внутрішніми зусиллями та внутрішніми переміщеннями, і набором параметрів (жорсткостей), котрі входять в опис цього закону.

При моделюванні сталезалізобетонної комплексної конструкції було прийнято, що конструкція закріплена по-контуру шарнірно, без можливості горизонтального переміщення та має такі фізико-механічні властивості матеріалів:

– для сталі – модуль пружності $E = 2.06 \times 10^8$ кН/м²; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.3$;

– для бетону – модуль пружності $E = 3.31 \times 10^7$ кН/м²; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.2$.

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

Для оцінювання впливу конструктивних особливостей на напружено-деформований стан залізобетонних плит зі сталевим обрамленням було прийнято чотири варіанти моделей системи.

Розрахунки проводились за допомогою програмних комплексів SCAD Office 11.3, ЛИРА 9.4, NASTRAN. У розрахунках вибрана конструкція розмірами 1,1x1,1 м у плані, товщина залізобетонної плити 75 мм. Сталеве обрамлення прийнято з прокатного рівнополічного кутика 75x6.

У *першому* випадкові залізобетонна плита моделювалася за допомогою пластин відповідної жорсткості розміром 1/4 довжини ребра плити. Сталеве обрамлення представлялося у вигляді стрижнів. Усі елементи є відцентрованими у вузлах (рис. 2).

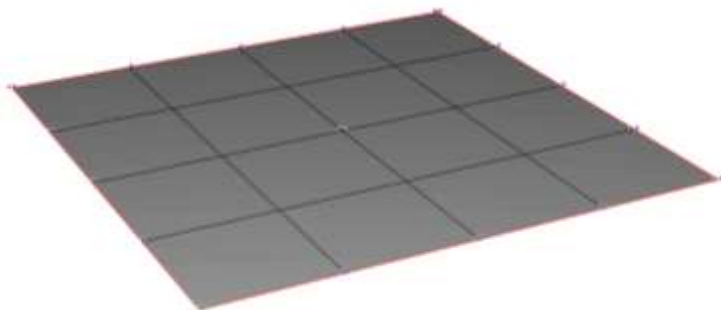


Рис. 2. Перший варіант ідеалізованої моделі

У *другому* випадку залізобетонна плита також моделювалася за допомогою пластин відповідної жорсткості розміром 1/8 довжини ребра

плити, тобто на плиту припадає 64 елементи. Елементи обрамлення представлялися у вигляді стрижнів. Усі елементи є відцентрованими у вузлах (рис. 3).

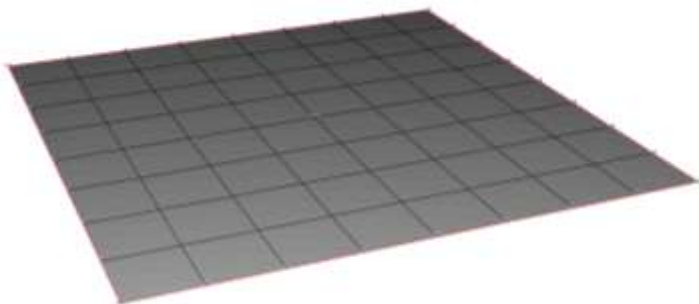


Рис. 3. Другий варіант ідеалізованої моделі

У *третьому* випадкові залізобетонна плита моделювалася за допомогою об'ємних елементів з розмірами $1/10$ - $1/15$ довжини плити у плані і $1/3$ товщини плити по висоті. Сталеve обрамлення моделювалось пластинами розміром 100×25 мм. Також у місці прикладання навантаження уведено кінцевий елемент – тверде тіло. Пластини жорстко з'єднувалися у вузлах з об'ємними елементами (рис. 3).

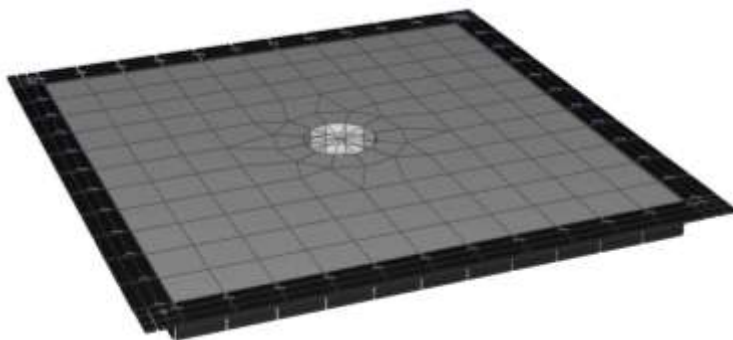


Рис. 4. Третій варіант ідеалізованої моделі

У *четвертому* випадкові залізобетонна плита моделювалася за допомогою об'ємних елементів розмірами $1/20$ – $1/25$ довжини плити у плані і $1/5$ товщини плити по висоті. Сталеve обрамлення моделювалось пластинами. У місці прикладання навантаження уведено пластину, що моделювали закладні деталі. Також у цих місцях уведено кінцевий елемент – тверде тіло, що моделює жорстке з'єднання елемента плити із закладною деталлю. Пластини жорстко з'єднувалися у вузлах з об'ємними елементами (рис. 4).

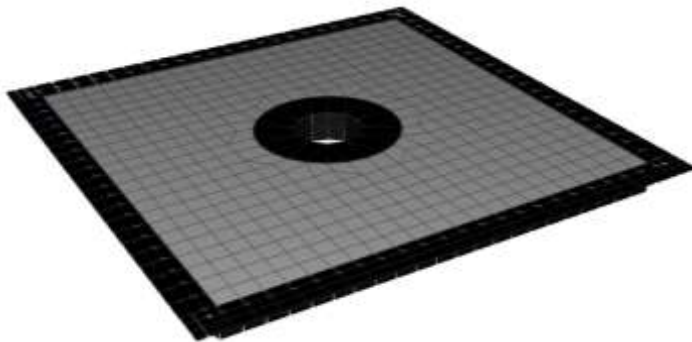


Рис. 5. Четвертий варіант ідеалізованої моделі

Для зручності порівняння результатів розрахунку проводимо у табличній формі (табл. 1) та у вигляді гістограми (рис. 6). Основними параметрами є: найбільші значення напружень у нижньому поясі та напруження у верхньому поясі.

Таблиця 1

Порівняння результатів розрахунку зразка

Мо- дель	Напруження у верхній та нижній зонах, МПА			Експеримен- тальні дані	Відхилення, %		
	Комплекси МКЕ				SCA D	NASTRA N	LIR A
	SCA D	NASTRA N	LIR A				
1	12,09	11,81	11,2 6	13,24	8,70	10,83	14,9 5
	10,83	11,14	10,4 7	11,92	9,08	6,50	12,1 3
2	12,60	12,52	11,8 8	13,24	4,83	5,43	10,2 7
	11,60	11,26	11,1 2	11,92	2,69	5,50	6,70
3	12,79	12,62	12,3 5	13,24	3,37	4,65	6,72
	11,34	11,08	10,9 7	11,92	4,82	6,99	7,96
4	12,90	12,94	12,6 3	13,24	2,55	2,29	4,61
	11,62	11,37	11,5 1	11,92	2,47	4,58	3,38

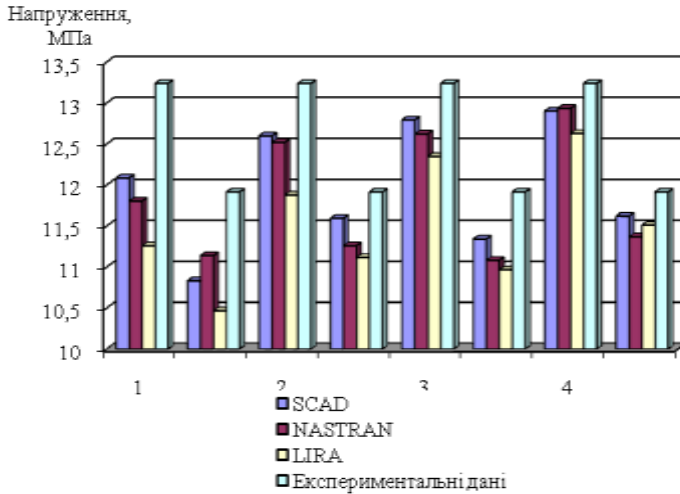


Рис. 6. Гістограма результатів розрахунку моделей плити

Аналізуючи результати моделювання залізобетонної плити та враховуючи отримані дані, виявлено, що вона може моделюватись як за допомогою пластин (2-а модель), так і за допомогою об'ємних елементів

(4-а модель). Для подальших інженерних розрахунків перекриттів рекомендується приймати другу кінцево-елементну модель, значення зусиль у якій не суттєво відрізняються від інших, але яка є набагато простішою. Для розрахунків окремих зразків рекомендується приймати четверту кінцево-елементну модель, яка є найбільш точною.

Розрахунок розпочинається із прийняття розрахункової схеми плити зразка ПН 75-1

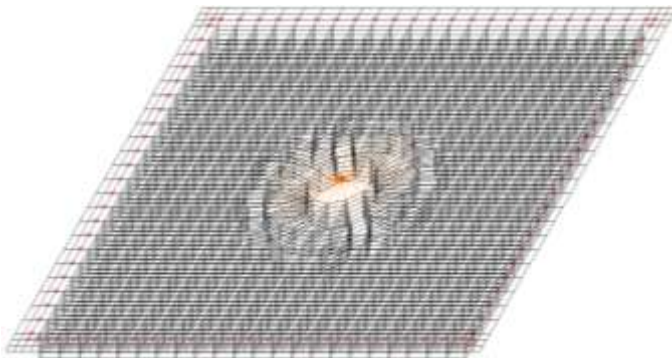


Рис. 7. Розрахункова схема плити ПН 75-1

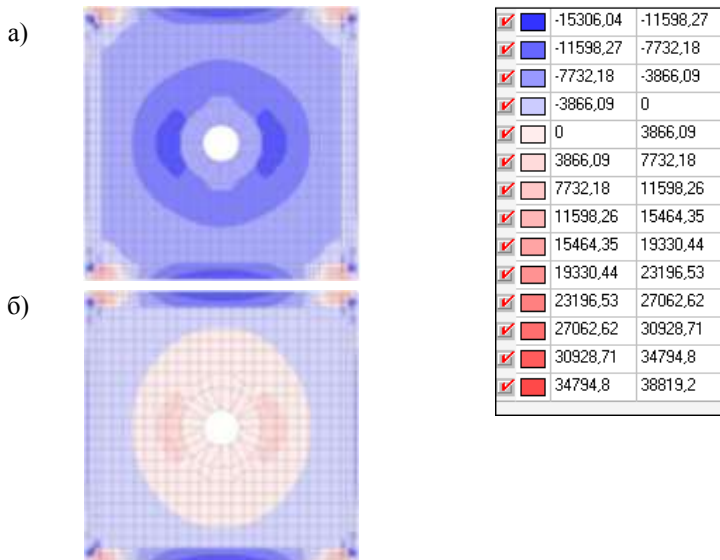


Рис. 8. Изополя нормальных напряжений N_x , кН/м^2 , зразка ПН75-1
а) вигляд зверху; б) вигляд знизу

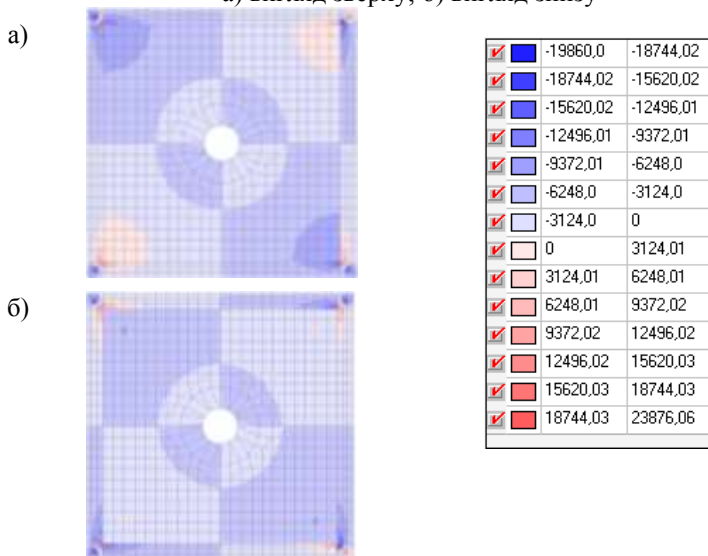


Рис. 9. Изополя дотичних напряжень T_{xy} , кН/м^2 , зразка ПН75-1
а) вигляд зверху; б) вигляд знизу

Порівняння результатів розрахунку зразка ПН75-1

№ плити	Тип обпирання	Напруження у верхній та нижній зонах посередині прольоту, т/м ² .		Відхилення, %
		SCAD	Експериментальні дані	
ПН75-1	по контуру	1290,3	1324	2,55
		1162,2	1191,6	2,47

У розрахунках конструкцій при дії завантаження спостерігалися збільшені напруження у плитах посередині прольоту (рис. 8 - 9). В елементах з обрамленням спостерігається характерний перерозподіл зусиль по плиті від середини прольоту до країв конструкції. Дані результати розрахунків були зіставлені з результатами випробувань, отриманими під час експерименту (табл. 2); різниця становить 2,47-2,55%.

Висновки

1. Проведено дослідження впливу кінцево-елементної моделі на параметри напружено-деформованого стану плоских сталезалізобетонних плоских конструкцій. Результати показали, що для інженерних розрахунків достатньо моделювати елементи плити як пластини з відповідною товщиною, а сталеві кутики, як стрижні. Для більш детальних досліджень плиту слід моделювати об'ємними кінцевими елементами, а закладні деталі та кутики обрамлення - у вигляді пластин.

2. Результати показали, що сталезалізобетонні плити ефективно сприймають завантаження і добре працюють, про що свідчить характер епюр та значення зусиль в елементах.

3. Проведене порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами розрахунку створеної кінцево-елементної моделі. Отримані дані показують, що в загальному напружено-деформований стан змодельованих конструкцій досить чітко збігається з результатами експериментальних випробувань. Різниця значень не перевищує 2,55%.

Summary

The new structural form is considered in the article – precast floor slab with steel framing. The feature of the offered constructions is that steel angles of frame work jointly with reinforced concrete constituent. The results of calculation by CAD system in comparison with results of experimental researches are described in this article.

Література

1. Гвоздев А.А. Прочность, структурные изменения и деформации бетона / А.А. Гвоздев и др.. – М.: Госстройиздат, 1978. – 296 с.
2. Гвоздев А.А. К вопросу о теории железобетона /А.А. Гвоздев // Бетон и железобетон. – 1980. – №4. – С. 18-20.
3. Бондаренко В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 288 с.
4. Бондаренко В.М. Оптимизация материала конструкции / В.М. Бондаренко, В.А. Ивахнюк, В.И. Колчунов, А.Г. Юрьев // Вестник РААСН. -Вып.3. – 2000. – С.23 – 25.
5. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами и ее приложение к расчету балок стенок, плит, элементов оболочек и стержней, подвергнутых кручению и изгибу с кручением: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н.И. Карпенко. – М., 1976. – 46 с.
6. Карпенко, Н.И. Развития методов проектирования строительных конструкций, зданий и сооружений / Н.И. Карпенко, В.И. Травуш // Сб. ст. Международ. науч.-техн. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». Пенза, 2002. – С.5 – 8.
7. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций / С.Ф. Клованич, Д.И. Безушко // одесса: ОНМУ, 2009. – 90 с.
8. Клованич С.Ф. Пространственный анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных плит при продавливании методом конечных элементов в нелинейной постановке / 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.