

УДК 624.012.464

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПЛИТ ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ ПРИ ДІЇ ПОПЕРЕЧНОГО ЗГИНУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПК “ЛИРА-САПР”

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛИТ СО СМЕШАННИМ АРМИРОВАНИЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНОГО СГИБА ПРИ ПОМОЩИ ПК “ЛИРА-САПР”

MIXED REINFORCEMENT SLABS UNDER THE ACTION OF CROSS BENDING USING “LIRA-SAPR” PC SOFTWARE SIMULATION

Бова Я.О., к.т.н., доцент (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Бова Я.А., к.т.н., доцент (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Bova Y.O., Ph.D., Associate Professor (Kyiv National university of construction and architecture)

Наведено методику моделювання роботи плит зі змішаним армуванням при дії поперечного згину та виконано порівняння отриманих результатів з експериментальними даними прогинів у програмному комплексі “ЛИРА-САПР”.

Приведено методику моделирования работы плит со смешанным армированием при действии поперечного изгиба и выполнено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными прогибов в программном комплексе “ЛИРА-САПР”.

This work presents the modeling procedure of mixed reinforcement slabs under the action of cross bending and compared this results with the experimental data of deflections in "LIRA-SAPR" PC software.

Ключові слова: армування, бетон, двовісне, змішане, коефіцієнт, напруження, несуча здатність, прогин, ПК “ЛИРА-САПР”.

Армирование, бетон, двухосное, смешанное, коэффициент, напряжение, несущая способность, прогиб, ПК “ЛИРА-САПР”.

Reinforcement, concrete, biaxial, mixed, coefficient, deflections, cross bending, “LIRA-SAPR” PC software.

Вступ. У науковій практиці все більше уваги приділяють застосуванню програмних комплексів для розрахунку будівель та споруд. Але не всі вони можуть бути використанні для повноцінного розрахунку елемента або конструкції з урахуванням його нелінійної роботи під дією внутрішніх та зовнішніх впливів. Враховуючи зазначені умови було прийнято рішення використати програмний комплекс “ЛИРА-САПР”. В основу цієї програми закладений розрахунок елементів та конструкції методом скінченних елементів з можливістю врахування геометричної та фізичної нелінійності матеріалів.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Аналіз останніх літературних джерел [1,2,3,4,5] виявив, що реалізація попереднього напруження в плоских безбалочних плитах потребує більш детального моделювання з врахуванням змішаного армування у таких конструкціях.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Враховуючи особливості роботи плит зі змішаним армуванням при поперечному згині, постало питання: чи можливо використовувати ПК “ЛИРА-САПР” для моделювання таких елементів, і які дані при цьому можливо отримати?

Постановка завдання. Для вирішення поставленої задачі, використали дані отримані в результаті експерименту [6], що був проведений в КНУБА. Для моделювання роботи плит зі змішаним армуванням при поперечному згині використали 3 серії плит середньої товщини, розміром 800×800 мм та товщиною 75 мм (рис.1). Кожна серія мала свій коефіцієнт змішаного армування (табл.1).

Таблиця 1

Об’єм та характеристики плит-зразків

№ серії та шифр зразка	Розміри плит-зразків, мм			Коефіцієнт змішаного армування $K_p = \frac{A_p}{A_{s, tot}}$	К-сть та клас напруженої арматури	К-сть та клас ненапруженої арматури	К-сть зразків, шт.	Ціль випробування
	<i>h</i>	<i>l</i>	<i>b</i>					
П-1 (ненапр. арм.)	75	800	800	0	-	18 А500С	4	Міцність, тріщиностійкість і прогини при різних способах армування
П-2 (зміш. арм.)	75	800	800	0,65	10 А800С	8 А500С	4	
П-3 (попер. напр. арм.)	75	800	800	1	18 А800С	-	4	

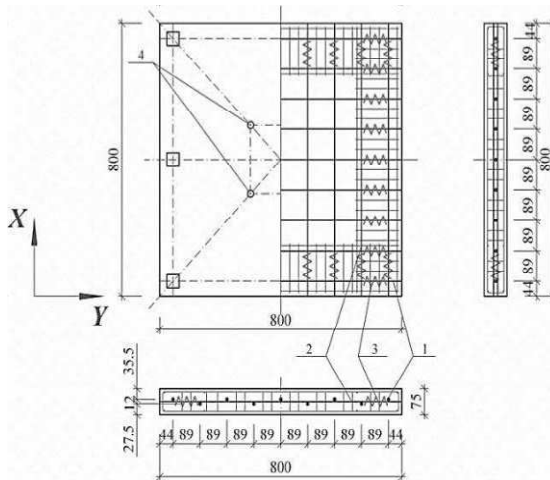


Рис. 1. Армування випробувального зразка плити:
 1 – арматурні стержні; 2 – ‘Т’-подібні арматурні сітки; 3 – спіралі;
 4 – круглі марки

Основний матеріал і результати. Виходячи з геометричних та фізичних характеристик експериментального зразка, для визначення напружено-деформованого стану, плита була розбита на скінчені вузли та об’ємні елементи. Після розбивки плити отримали вузли, які були з’єднані по точкам, утворюючи об’ємний скінчений елемент КЕ-236 (рис.2). Попередньо напружену та ненапружену арматуру моделювали за допомогою універсального стержневого КЕ-410, так як і в експерименті, розміщена в тілі плити. Для запобігання руйнування приопорної зони плити змодельовані просторові каркаси по периметру за допомогою скінченого елемента КЕ-410.

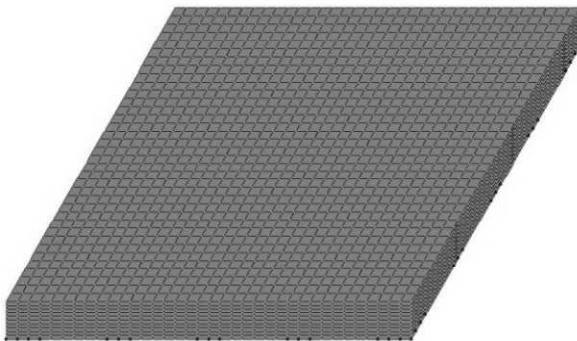


Рис. 2. Розбивка плити на скінчені елементи

На наступному етапі моделювання введені необхідні характеристики бетону та арматури з врахуванням їх нелінійної роботи. Для бетону використано 21-й експоненціальний закон деформування бетону $\sigma - \varepsilon$, а для арматури 11-й – експоненціальний закон деформування сталі. Характеристики бетону та арматури вказані за даними експериментальних досліджень [6].

Попереднє напруження створюють за допомогою різниці температур стержня (рис.3). Згідно із запропонованою методикою, наведеною в [7], різницю температур визначають за формулою:

$$t_1 - t_2 = -\frac{\varepsilon_0}{\alpha}, \quad (1)$$

де ε_0 – деформації, що виникають внаслідок попереднього натягу стержня з врахуванням усіх втрат до моменту прикладення зовнішнього навантаження, і визначається за формулою:

$$\varepsilon_0 = \frac{(\sigma_{pm,0} - \Delta\sigma_{p,c+s+r})}{E_p}, \quad (2)$$

де $\sigma_{pm,0}$ – напруження у арматурі відразу після натягу на упори або відпуску, яке прийняли $0,85 f_{p0,1k}$;

$\Delta\sigma_{p,s+s+r}$ – абсолютне значення зміни напружень внаслідок повзучості, усадки бетону та релаксації арматури (втрати від попереднього напруження);

E_p – модуль пружності напруженої сталі прийнятий згідно [6];

α – коефіцієнт лінійного розширення арматурної сталі, град⁻¹ (для сталі в даному випадку прийнято $\alpha = 0,000011$ град⁻¹).

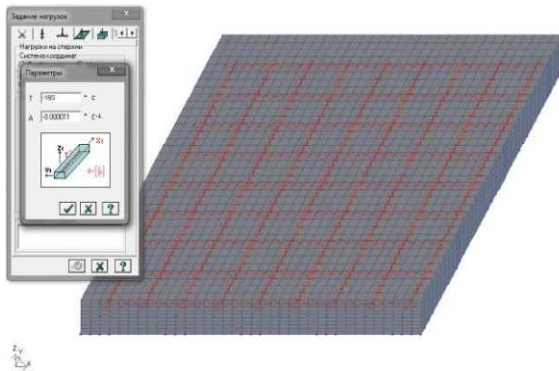


Рис.3. Створення попереднього напруження за допомогою температури нагріву стержня.

Після того як усі параметри матеріалів задані, а також введено зусилля попереднього напруження, моделюють нелінійне навантаження конструкції. Для більш коректного моделювання роботи плити при навантаженні необхідно розкласти зусилля на два етапи: на першому етапі навантаження – дія зусилля попереднього напруження, на другому – це зовнішнє навантаження, яке було прикладене на зразок-плиту. Слід зазначити, що зусилля натягу арматури прикладали одним навантаженням, а зовнішнє зусилля прикладене ступенями. Зовнішнє зусилля прикладали на металеві пластини, які розміщені безпосередньо на плиті.

В результаті комп'ютерного обчислення створеної моделі роботи отримано значення граничних прогинів та загальну картину руйнування плит з різним коефіцієнтом змішаного армування. Для більш зручного вигляду результати граничних прогинів зображені у вигляді графіків порівняння експериментальних та отриманих під час розрахунку програмою даних (рис. 4-6) та у вигляді ізополей вертикальних переміщень (рис. 7-9).

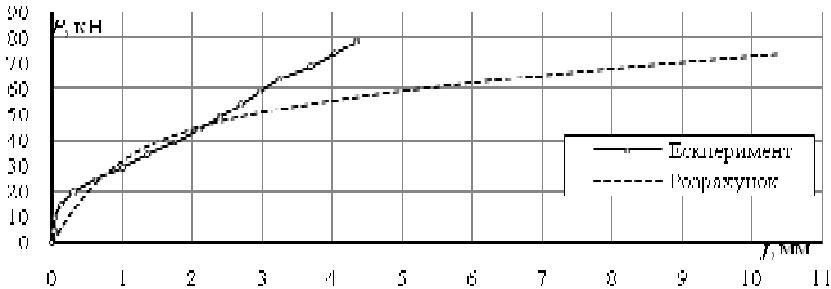


Рис. 4. Порівняння отриманих значень прогинів під час експерименту з результатами розрахунків програмою серії П-1.

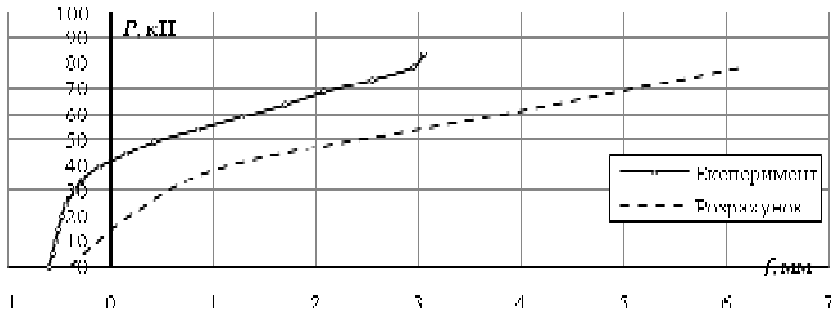


Рис. 5. Порівняння отриманих експериментальних значень прогинів з урахуванням вигину з результатами розрахунків програмою серії П-2.

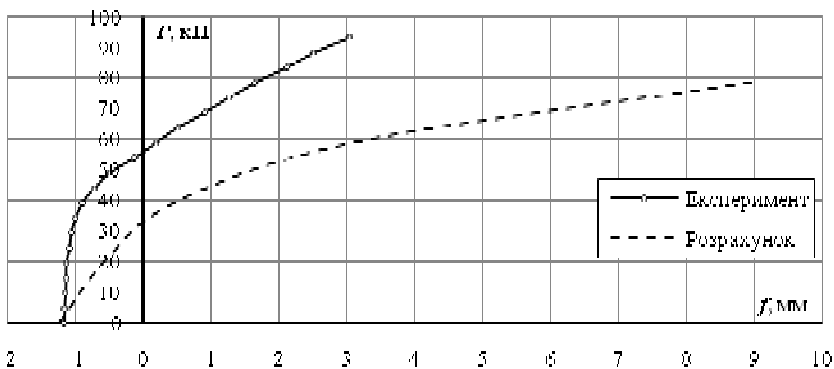


Рис. 6. Порівняння отриманих експериментальних значень прогинів з урахуванням вигину з результатами розрахунків програмою серії П-3.

Враховуючи, що несучу здатність в ПК “ЛИРА-САПР” важко оцінити за рахунок того, що велика кількість об’ємних елементів, то за основні показники прийнято вертикальне переміщення та кінцевий протокол стану матеріалів. В результаті отримали значення переміщень зразків-плит серії П-1, П-2 та П-3 при навантаженні $0,8$ від руйнівного зусилля і порівняли ці значення з даними випробувань.

Для плити серії П-1 (зі звичайною арматурою) прогини в результаті розрахунку становили $6,20$ мм, тобто $f_{\text{ЛІРА}} \approx \frac{l}{130}$, при цьому експериментальний прогин дорівнював $f_{\text{exp}} = \frac{l}{225}$ (рис. 4).

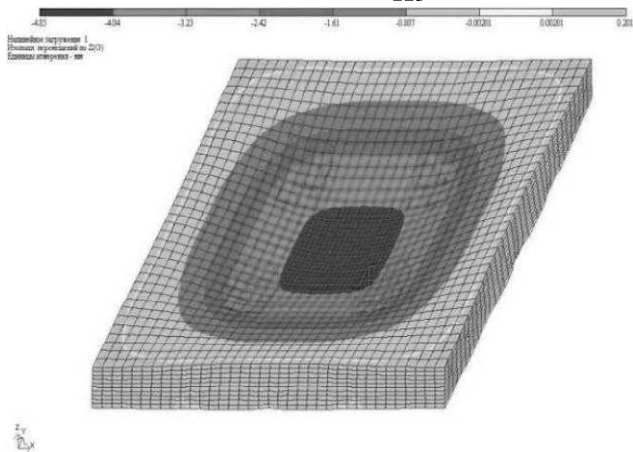


Рис. 7. Ізополе вертикальних переміщень від зовнішнього навантаження для плити серії П-1 при $0,8P_u$

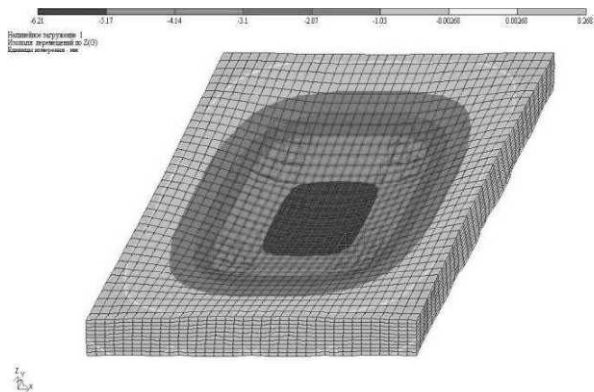


Рис. 8. Ізополе вертикальних переміщень від зовнішнього навантаження для плити серії П-2 при $0,8P_u$

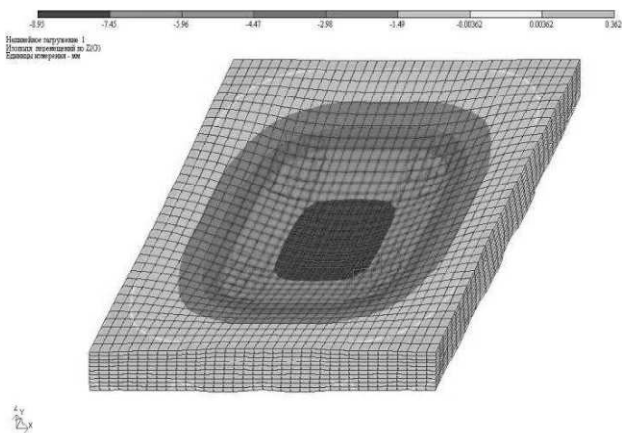


Рис. 9. Ізополе вертикальних переміщень від зовнішнього навантаження для плити серії П-3 при $0,8P_u$

Прогин у плитах серії П-2 (зі змішаним армуванням) фактично такий же, як і у плитах серії П-1, і становив 6,21мм. При цьому фактичний прогин, в результаті випробувань з урахуванням вигину дорівнював $f_{\text{exp}} = \frac{l}{260}$ (рис. 5).

При розрахунку прогин плит серії П-3 (з попередньо напруженою арматурою) дорівнював 8,95мм, в той час як експериментальний прогин дорівнював $f_{\text{exp}} = \frac{l}{490}$ (рис. 6).

В результаті комп'ютерного моделювання встановлено, що тільки зразки зі звичайним армуванням (серія П-1) відповідають дійсній роботі плити при

продавлюванні, хоча і мають деяке розходження в прогинах на останніх етапах завантаження.

В плитах серії П-2 та П-3 спостерігаємо збільшення прогинів у порівнянні з отриманими експериментальними даними. Це можна пояснити тим, що програма при моделюванні зусиль натягу враховує попереднє напруження як негативне навантаження, це в свою чергу впливає на міцність та прогини. Отже, розрахунок на продавлювання плит зі змішаним армуванням, як і з повністю напруженим, на даний час не достатньо точно відповідає дійсній роботі плит і потребує подальшого вдосконалення. Необхідно, щоб попереднє напруження не мало негативних наслідків на міцнісні характеристики матеріалів, в першу чергу бетону.

1. Арсланбеков М.М. Исследование прочности, трещиностойкости и жесткости железобетонных изгибаемых элементов со смешанным армированием // Дисс.канд.техн.наук. М. – 1983 – с. 166. 2. Журавський О.Д. Напряженно-деформированное состояние железобетонных плит при двухосном предварительном обжатий // Автореферат. Киев, 1988 – с. 25. 3. Карчемский М.Ю. Железобетонные плиты, предварительно напряженные в двух направлениях / М.Ю. Карчемский. – К.: Госстройиздат, 1958 – с. 121. 4. Лисицин Б.М. Теоретическое и экспериментальное исследование предварительно напряженных в двух направлениях железобетонных плит и шатровых панелей: автореф. канд. дисс. / Б.М.Лисицин // – Киев, 1961 – с. 20. 5. Баби́ч С.М. Залізобетонні балки і плити зі змішаним армуванням/ С.М. Баби́ч, О.П. Бори́сюк, П.П. Коце́бчук // Вид-во – Рівне, 1998 – с. 134. 6. Бова Я.О. Залізобетонні плити зі змішаним армуванням // Автореферат. Київ, 2013 – с. 22. 7. Верюжский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций / Ю.В. Верюжский, В.И. Колчунов, М.С. Барабаш, Ю.В. Гензерский // – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. – 808 с.