

УДК 624.0.12

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГИНІВ ПЛИТ, ОПЕРТИХ ПО КОНТУРУ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГИБОВ ПЛИТ, ОПЕРТЫХ ПО КОНТУРУ**

**RESEARCH DEFLECTIONS OF SLABS SUPPORTED ON A CONTOUR**

**Сморкалов Д.В., к.т.н., доцент** (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

**Сморкалов Д.В., к.т.н., доцент** (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

**Smorkalov D.V., candidate of technical sciences, docent** (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

**Виконано розрахунок і співставлення прогинів плит, отриманих за допомогою ПК Лира-Сапр з результатами експериментальних досліджень.**

**Выполнен расчет и сопоставление прогибов плит, полученных с помощью ПК Лира-Сапр с результатами экспериментальных исследований.**

**The calculation and comparison of the stiffness deflection of slabs based on Lira-SapR (software package) with experimental results.**

**Ключові слова:**

Сталефібробетон, жорсткість, прогин, плита.

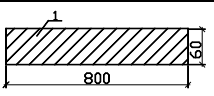
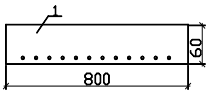
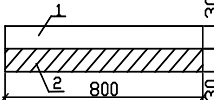
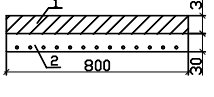
Сталефібробетон, жесткость, прогиб, плита.

Steel fiber concrete, stiffness, deflection, slab.

**Стан питання та мета досліджень.** Для порівняння деформаційних властивостей випробувані одношарові (серія I і II) і двошарові плити (серії III і IV), шари сталефібробетону розташовані у двох варіантах: знизу (у розтягнутій зоні) та зверху (у стиснутій зоні) (табл. 1) [1]. З метою виявлення ступеню сумісності роботи шаруватих плит випробувані одношарові плити серій I і II – сталефібробетонні та залізобетонні. Сталефібробетон не має додаткової стержневої арматури, оскільки попередні дослідження різних авторів свідчать про неефективність такого армування.

Для армування залізобетонних плит прийнятий холоднотягнутий арматурний дріт класу Вр-I діаметром 4 мм. Арматурні стержні в серіях II і IV розташовані у розтягнутій зоні із захисним шаром бетону товщиною 10 мм.

Об'єм та зміст експериментальних досліджень [1]

Серія	Марка плити	Переріз	Склад	Мета випробувань
I	ПФ-1		1-сталефібробетон	Короткочасне навантаження одношарових плит
	ПФ-2			
II	ПЗ-1		1-залізобетон	
	ПЗ-2			
III	ПБФ-1		1-бетон; 2-сталефібробетон	Короткочасне навантаження двошарових плит
	ПБФ-2			
IV	ПЗФ-1		1-сталефібробетон; 2-залізобетон	
	ПЗФ-2			

При випробуванні поперечним навантаженням як одношарових, так і двошарових плит використовували одну розрахункову схему: плита шарнірно оперта по контуру і навантажена рівномірно розподіленим навантаженням.

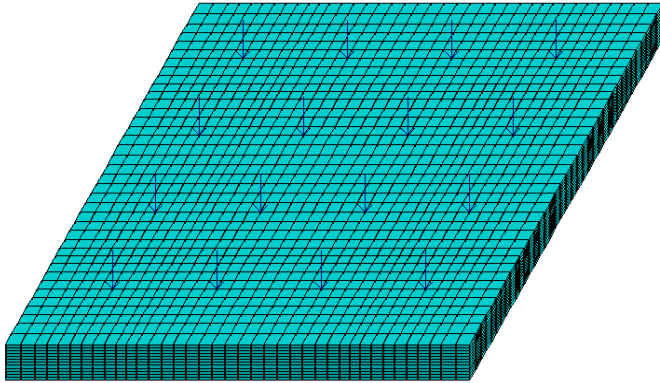
Розрахунки на ЕОМ виконували за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР [2]. У основу ПК ЛІРА покладений розрахунок елементів та конструкцій методом скінченних елементів.

Розрахункову модель плити (рис. 1) прийнято із об'ємних скінченних елементів (тип СЕ-36). Виходячи із геометричних і фізичних характеристик дослідних зразків, в плані плита розділена на 1444 скінченних елементів, по товщині плита складена з 12 шарів товщиною 5мм. В результаті моделювання отримали 19773 вузлів і 17328 елементів. Навантаження прикладене у вигляді 16 зосереджених сил. Схема навантажень і опор прийнята згідно зі схемою наведеною у роботі [1].

Скінченний елемент СЕ-36 – універсальний просторовий вісьмивузловий ізопараметричний скінченний елемент, призначений для розрахунку просторових конструкцій. На рис. 2 представлено його схематичне зображення. Кожен із вузлів СЕ має три ступеня свободи  $U$ ,  $V$ ,  $W$  визначених відносно осей загальної системи координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  і являють собою лінійні переміщення відносно осей, додатній напрямком якого співпадають з напрямком осей координат.

Прийнята розрахункова схема дозволяє змінювати жорсткість матеріалів як для одношарових, так і для двошарових плит.

a)



б)

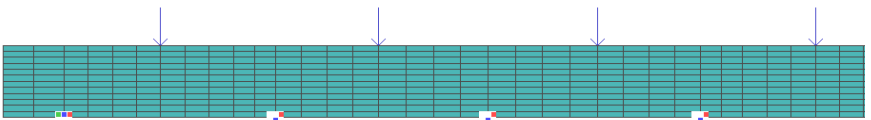


Рис. 1. Розрахункова схема плити в ПК ЛІРА-САПР:  
а – загальний вигляд; б – вид збоку

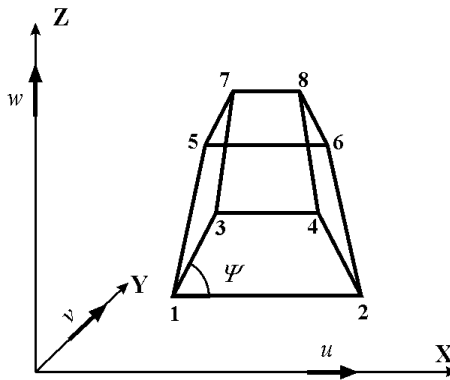


Рис. 2. Схематичне зображення скінченного елемента СЕ-36

Розрахунок плит виконували в лінійній постановці для навантажень, які відповідали крокам навантаження при випробування. Для урахування нелінійних фізико-механічних властивостей матеріалу брали до уваги шляхом змінення значення модуля пружності понижувальними коефіцієнтами.

Початкові значення модуля пружності бетону, сталевіробетону приймали за експериментальними даними  $E_c=22,5 \cdot 10^3$  МПа,  $E_{cf}=23,8 \cdot 10^3$  МПа. Зважаючи на незначний відсоток армування ( $\mu_s=0,39\%$ ), арматуру до уваги не приймали.

Постає питання, як змінюється і від чого залежить жорсткість плит з початку і до руйнування. Очевидно, основну роль в змінній жорсткості плит відіграють зниження початкового модуля пружності бетону за рахунок збільшення пластичних деформацій та утворення і прогресуюче розширення тріщин.

Правила [4] рекомендують нелінійну роботу конструкцій при визначенні модуля деформацій бетону урахувати введенням понижувальних коефіцієнтів: 0,3 – при відсутності тріщин і 0,2 – при наявності тріщин (рис. 3,а).

У зв'язку з порушенням суцільності за рахунок утворення і розвитку нормальних тріщин зниження жорсткості плит урахували висотою тріщин у розтягнутій зоні на певному етапі навантаження (рис. 3, 5, 6). Висоту тріщини  $h_{cr}$  відраховували від крайнього розтягнутого волокна. Шари плити, покриті тріщинами, приймали у розрахунку нульової жорсткості.

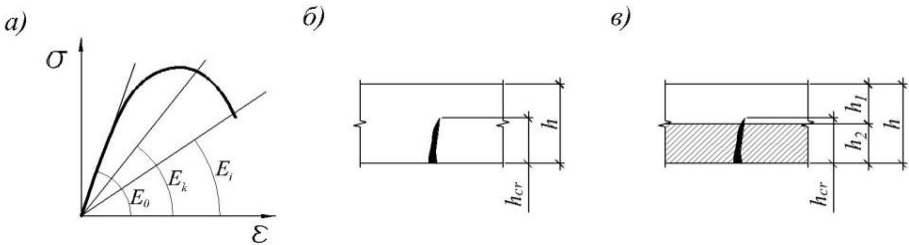


Рис. 3. До визначення параметрів ( $E_b, h_{cr}$ ) для розрахунку плит :  
 а– величина модуля деформацій; б,в – висота тріщин одношарових(б) і двошарових (в) плит

Дослідами [1] встановлено, що роботу залізобетонних плит умовно можна поділити на п'ять ділянок в залежності від інтенсивності навантаження (рис.4): деформування без тріщин при наявності пластичних деформацій (ділянка I), початок тріщиноутворення (ділянка II), формування стійкої системи тріщин (ділянка III – IV), граничної ширини розкриття тріщин (ділянка V).

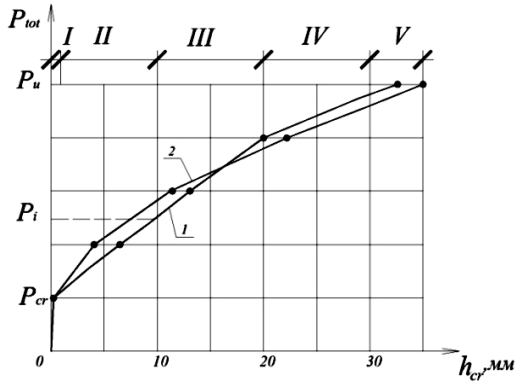


Рис. 4. Розрахункові ділянки нелінійної роботи плит :  
1 – дослідна крива; 2 – розрахункова крива

**Результати досліджень.** Проаналізувавши результати вимірювання деформацій бетону та глибини проникнення нормальних тріщин, склали таблицю 2 розрахункових параметрів обчислення прогинів плит на кожній ділянці деформування.

Таблиця 2

Параметри до розрахунку жорсткості одношарових і двошарових плит

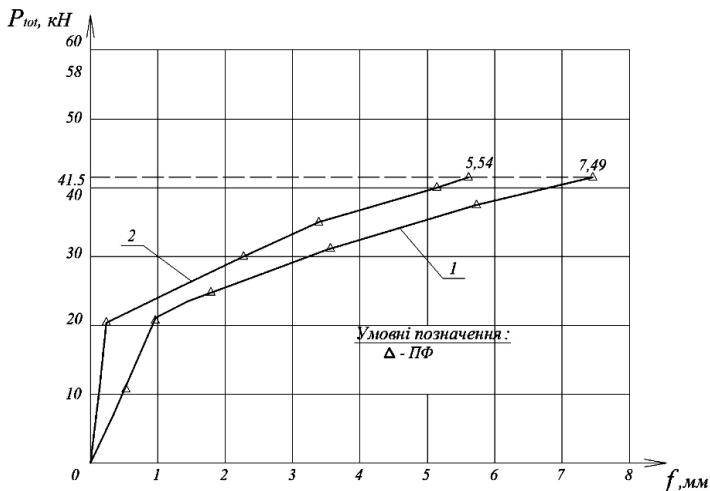
Найменування виробу	Початковий модуль пружності $E_{co} \cdot 10^3$ , МПа	$kE_{co} \cdot 10^3$ МПа		$h-h_{cr2}$ , мм				
		Розрахункові ділянки роботи плит						
		I	II-V	I	II	III	IV	V
Важкий бетон	22,5	6,75	4,50	-	-	-	-	-
Сталефібробетон	23,8	7,14	4,76	-	-	-	-	-
Марки дослідних плит (див. табл. 1)	ПФ	-	-	60	35	30	25	-
	ПЗ	-	-	60	45	40	35	30
	ПБФ	-	-	30/30	30/5	30/0	25/0	25/0
	ПЗФ	-	-	30/30	30/15	30/15	30/5	30/0

Примітки: 1. Умовні позначення:  $E_{co}$  – початковий модуль пружності бетону або сталефібробетону;  $k$  – коефіцієнт, який залежить від наявності тріщин:  $k=0,3$  – до утворення тріщин (перша ділянка – I, рис. 3);  $k=0,3$  – після тріщиноутворення (решта ділянок, рис. 3).

2. У чисельнику – залишки верхнього шару двошарових плит після утворення тріщин; у знаменнику – залишки нижнього шару двошарових плит після утворення тріщин

Результати експериментальних досліджень та розрахунку одношарових і двошарових плит в ПК ЛІРА-САПР наведені на рис. 5 і 6.

а)



б)

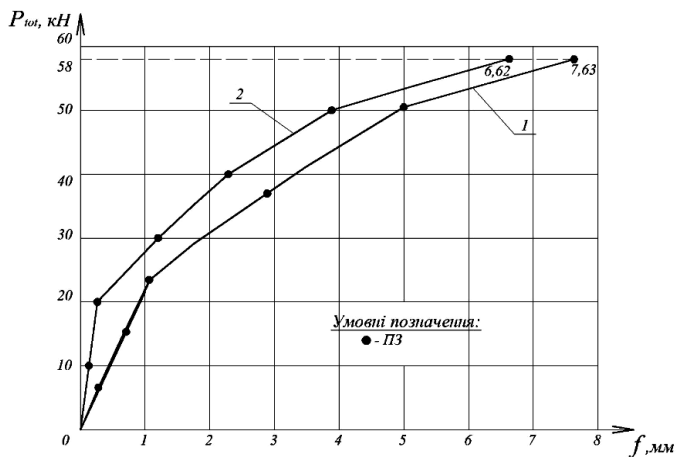
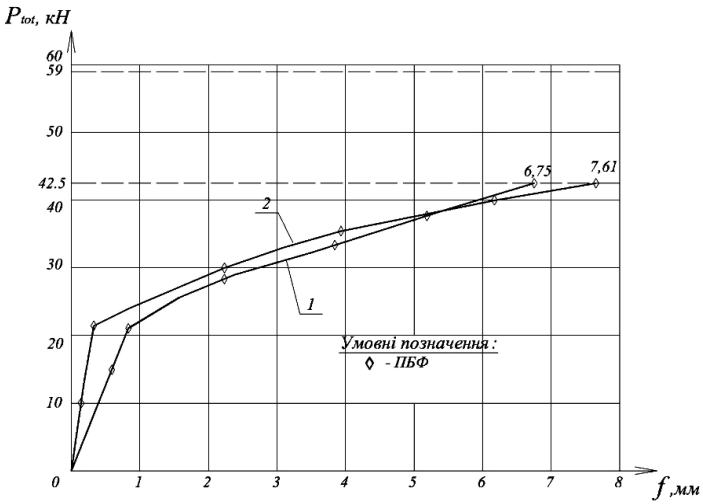


Рис. 5. Результати розрахунку прогинів одношарових плит серії I марки ПФ (а) і плит серії II марки ПЗ (б): 1- експериментальні; 2-розрахункові в ПК ЛІРА-САПР

При розрахунку двошарових плит, для кожного шару плити приймали відповідний модуль пружності матеріалу. Значення понижувальних коефіцієнтів

і елементів нульової жорсткості приймали аналогічно до розрахунку одношарових плит.

а)



б)

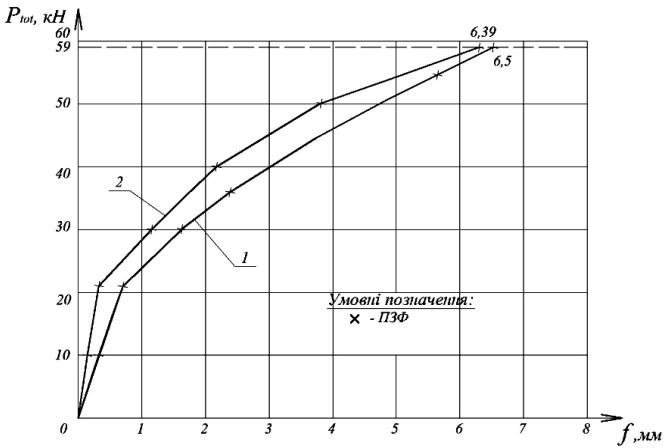


Рис. 6. Результати розрахунку прогинів двошарових плит серії III марки ПБФ (а) і плит серії IV марки ПЗФ (б): 1- експериментальні; 2- розрахункові в ПК ЛІРА-САПР

Обчислення свідчать, що розрахунок прогинів за умов виконання рекомендацій [4] Російських норм за умов врахування висоти тріщин порівняно з експериментальними даними, інколи розбіжність отримано в межах 10...30%, що вказує на недостатню точність завдання параметрів пластичності та тріщиноутворення.

До речі, розрахункові похибки прогинів двошарових плит значно менші, ніж одношарових, що свідчить про більшу точність в оцінюванні згаданих параметрів жорсткості плит.

### **Висновки:**

Розрахунок на ЕОМ за допомогою програмного комплексу ЛИРА надають широкі можливості з комп'ютерних технологій розрахунку для визначення жорсткості (прогинів) як одношарових, так і шаруватих плит. Отримані окремі результати розрахунків свідчать про недостатню точність у порівнянні з дослідними даними і потребують уточнення початкових (вхідних) даних, шляхом вдосконалення врахування нелінійної роботи конструкції. Введення понижуючих усереднених коефіцієнтів інколи не відповідає реальним умовам деформування плит. Крім того, викликає сумніви щодо правильності визначення глибини розповсюдження тріщин по висоті плити, від чого суттєво залежить її фактична жорсткість.

1. Барашиков А.Я. Експериментальні дослідження двошарових плит / Барашиков А.Я., Журавський О.Д., Сморгалов Д.В.// Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. Зб. наук. праць. у 2-х книгах, книга 1. – К: ДНДІБК., 2003. – Вип. 59. – С.109-114. 2. Лантух-Лященко А.И. ЛИРА. Програмный комплекс для расчета и проектирования: Учебное пособие. – К. – М.: 2001. – 312 с. 3. ДБН В.2.6–98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 4. СП 52-103-2007. Свод правил по проектированию и строительству. Железобетонные монолитные конструкции зданий. – М. 2007 – 18с.