

5. Menter F.R. *Scale-Adaptive Simulation Model using Two-Equation Models* / F.R. Menter, Y.A. Egorov. — AIAA paper. — 2005. — P. 1093-1095.

6. Franke J. *Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment, quality assurance and improvement of microscale meteorological models* / J. Franke, F. Hellsten, H. Schlunzen, B. Carissimo. — Brussels/Belgium, 2007. — 52 p.

7. Franke J. *Recommendations on the use of CFD in wind engineering* / J. Franke // *Proceedings of the International Conference on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics, von Karman Institute, Sint-Genesius-Rode.* — Belgium, 2004. — 19 p.

8. Menter F.R. *Ten years of industrial experience with the SST turbulence model* / F.R. Menter, M. Kuntz, R. Langtry // *Turbulence : Heat and Mass Transfer 4 : Proc. Intern. Conf. Begell House, Inc. 2003.* ? 8 p.

9. Tominaga Y. *Cross Comparisons of CFD Results of Wind Environment at Pedestrian Level around a high-rise Building and within a Building Complex* / Y. Tominaga, A. Mochida et al. // *J. of Asian Architecture and Building Engineering.* ? 2004. ? P. 63?70.

#### АННОТАЦІЯ

В статье рассмотрены основные аспекты компьютерного моделирования воздушного потока с учетом специфики строительной аэродинамики.

Ключевые слова: ветровые воздействия, высотные сооружения, CFD-анализ, модели турбулентности, число Рейнольдса.

#### ANNOTATION

This article discusses basic principles of computer modeling of air flow with specificity of construction aerodynamics.

Keywords: wind exposure, high-rise buildings, CFD-analys, turbulence model, the Reynolds number.

#### УДК 624.012

*Д.В. Сморгалов, асистент;*

*Д.П. Обіход, студент; КНУБіА, Київ*

### ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ ПРОГИНІВ ДВОШАРОВИХ ПЛИТ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІРА-САПР

#### АННОТАЦІЯ

Робота присвячена експериментально-теоретичним дослідженням плоских одно- і двошарових бетонних (армованих і неармованих) плит в комбінації із шаром сталевібробетону, які оперті по контуру під дією короткочасного поперечного навантаження. Розроблено пропозиції щодо розрахунку прогинів плит на ПК ЛІРА-САПР.

Ключові слова: сталевібробетон, двошарові плити, міцність, тріщиностійкість, деформативність, прогин.

**Постановка проблеми.** Однією з першочергових задач будівельного комплексу в галузі бетону і залізобетону є розширення використання бетонів високої міцності, розробка нових конструктивних систем на основі довговічності споруд і створення гнучких технологій. Ефективним з точки зору нових форм є упровадження шаруватих конструкцій, а із матеріалів — фібробетонів. Для шаруватих конструкцій знайшли широку реалізацію у дорожньому і аеродромному будівництві, улаштуванні промислових підлог різного призначення, проїзних частин залізничних і автодорожніх мостів, у спорудах ТЕС і АЕС тощо. Як показує досвід, найбільш доцільним і ефективним є двошарові системи: нижній шар виконують із армованого бетону, верхній шар — із сталевібробетону.

Огляд і аналіз останніх наукових досліджень застосування прогресивних шаруватих плит, які працюють у двох напрямках, свідчить, що їх реалізація у будівлях і спорудах в значній мірі гальмується відсутністю проектної нормативної бази. Вивчення експлуатаційних властивостей взаємодії різних матеріалів, зокрема бетону і сталевібробетону, здається вельми актуальним. Нарешті, введення нещодавно проектних норм України [3], гармонізованих із Європейськими стандартами, для шаруватих плит вимагає ретельного дослідження їх експлуатаційних якостей. Тому проблему широкого упровадження шаруватих конструкцій у бу-

дівництві слід вважати актуальною і такою, що викликає практичний і науковий інтерес.

**Формулювання мети статті.** Мета пропонованих експериментальних випробувань — дослідження напружено-деформованого стану, міцності, тріщиностійкості та деформацій залізобетонних і сталевібробетонних одношарових та двошарових плит.

Загальний розмір одношарових плит складає 800x800x60мм, двошарові плити мають товщину шарів залізобетону (бетону та сталевібробетону) по 30мм.

**Основна частина.** Для визначення ефективності роботи двошарових плит виготовлені зразки чотирьох серій (табл. 1.): дві серії — одношарових та дві — двошарових плит. Фізико-механічні характеристики використаних матеріалів детально описані у [1]. Експериментальні плити виготовлені в умовах наукової лабораторії кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури.

Для порівняння експлуатаційних властивостей одношарових (серія I і II) і двошарових плит (серії III і IV) шари сталевібробетону розташовані у двох варіантах: знизу (у розтягнутій зоні) та зверху (у стиснутій зоні). З метою виявлення ступеня сумісності роботи шаруватих плит випробувані однашарові плити серій I і II — сталевібробе-

тонні та залізобетоні. Сталевібробетон не має додаткової стержневої арматури, оскільки попередні дослідження різних авторів свідчать про неефективність такого армування.

Для армування залізобетонних плит прийнятий холодногнутий 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.

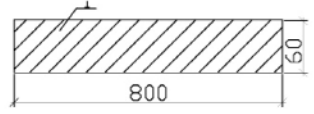
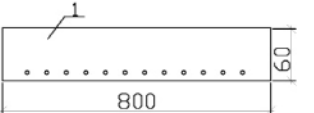
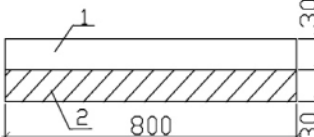
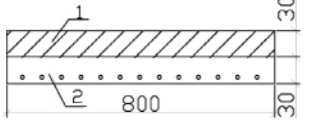
Виготовлення дослідних плит здійснювали у два етапи. На першому етапі бетонували одношарові плити та нижні шари двошарових плит. Для бетонування дослідних зразків плит використані по одному замісу важкого бетону та сталевібробетону.

У перпендикулярних напрямках плит серії II і IV встановлені дротини  $\varnothing 4$  Вр-I. У обох серіях II і IV у напрямках осей X та Y встановлені по 11 дротин з кроком 75 мм. Коефіцієнт повздовжнього армування плит становив  $\mu_s = 0,0039$  або 0,39%.

Виготовляли зразки плит у такому порядку. Спочатку заготовляли арматурні стержні по довжині експериментального зразку. Для фіксування стержнів у опалубці їх розміщували згідно з проектним положенням у розтягнутій зоні плити за допомогою в'язання дротом діаметром 1,2 мм.

Після встановлення усіх арматурних сіток у металеву опалубку (див. рис. 1.) укладали важкий

Табл. 1. Об'єм та зміст експериментальних досліджень

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



а)



б)

Рис. 1. Загальний вигляд опалубки перед бетонуванням (а) та після бетонування (б)

бетон проектного класу С20 (див. п. 2.1) та сталеві фібробетон. Бетонну суміш ущільнювали глибинним вібратором протягом 2...3 хвилин до появи на поверхні цементного молочка, після чого вібрування припиняли, щоб запобігти розшаруванню бетонної суміші. Через 1...2 години після бетонування, по свіжому бетону, у двошарових плитах зверху робили насічки глибиною 5...10 мм для збільшення площі контакту з новим бетоном (серія III) або сталеві фібробетоном (серія IV).

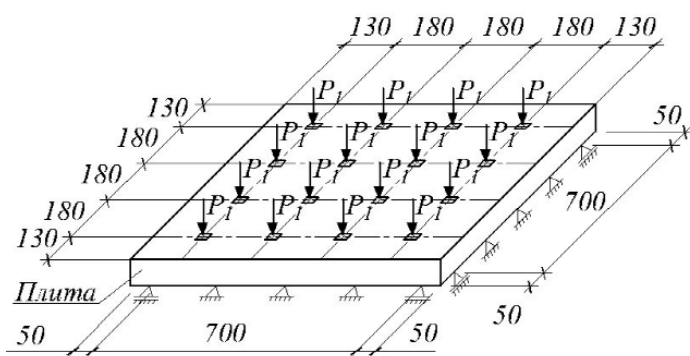
На другому етапі виконували бетонування верхніх шарів двошарових плит.

Одночасно з плитами з тих самих видів бетону або сталеві фібробетону виготовляли куби і призми. Усі виготовлені зразки накривали водонепроник-

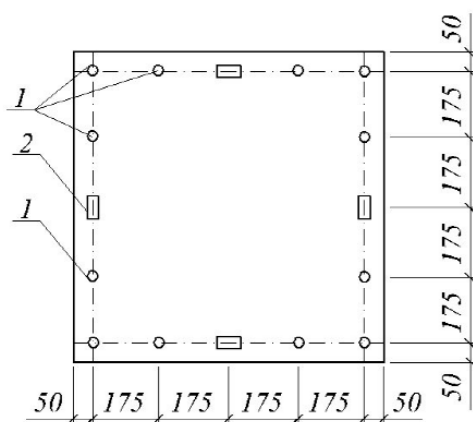
ною плівкою і у такому стані зберігали до часу випробувань. Куби і призми випробовували за рекомендаціями чинних норм у віці 28 діб і на момент початку досліджень плит у віці 28-30 діб. Плити розпалублювали у віці 7 діб, ретельно очищували та обмірювали з точністю до 1 мм.

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

Для улаштування опирання плити по контуру розташували 16 шарнірних опор (12 – куляста і 4 – циліндричних) (рис. 2.), які встановили на жорстку



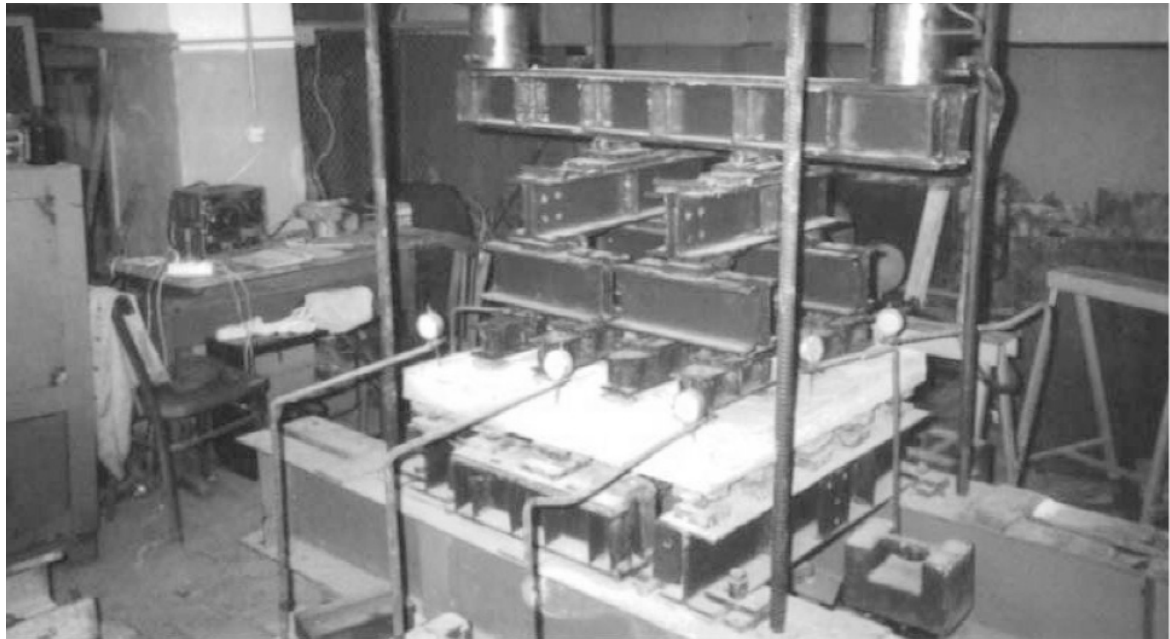
а)



б)

Рис. 2. Схема прикладання навантаження на плиту (а), та схема опор (б):

1 – куляста опора, 2 – циліндрична опора



*Рис. 3. Загальний вигляд випробувального стенду*

металеву раму. Поперечне зусилля до верхньої поверхні плити у 16 точках через металеві прокладки прикладали за допомогою системи траверс.

Прийнято припущення, що 16 зосереджених сил, рівномірно розташованих на поверхні плит, не дають суттєвої різниці у її роботі, порівняно з рівномірно розподіленим навантаженням, тому у подальших теоретичних дослідженнях міцності, тріщиностійкості та деформацій дослідних плит прийнята розрахункова схема плити, що шарнірно опирається по контуру і навантажена рівномірно розподіленим навантаженням. Навантаження здійснювали ступенями  $P_i=2,0$  кН з витримкою по 15 хвилин на кожному ступеню для знімання відліків з приладів. Величину навантаження фіксували показниками зразкового дінометра гідравлічної насосної станції. Перед початком випробувань гідросистему, яка складається з насосної станції, домкратів і зразкового динамометру, тарували за допомогою зразкового динамометра системи Токарева.

У процесі навантаження у центрі плити фіксували прогини, а також деформації над опорами за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01мм. На нижній і верхній сторонах плити вимірювали деформації бетону за допомогою тензорезисторів з базою 50 мм.

Навантаження здійснювали двома гідравлічними домкратами потужністю 250 кН, об'єднаних спільним масляним контуром, підключеним до загальної насосної станції. Загальний вигляд випробувального стенду наведено на рис. 3.

Розрахунок прогинів плит за допомогою ПК ЛІРА-САПР. Розрахунки на ЕОМ виконували за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР. У основу ПК ЛІРА-САПР покладений розрахунок елементів та конструкцій методом скінченних елементів.

Розрахункову модель плити (рис. 4.) прийнято із об'ємних скінченних елементів (тип SE-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 з схемою рис. 2.

Скінченний елемент SE-36 – універсальний просторовий вісьмивузловий ізопараметричний скінченний елемент, призначений для розрахунку просторових конструкцій. На рис. 5. представлено схематичне зображення. Кожен із вузлів SE має три ступеня свободи  $U, V, W$  визначених відносно осей загальної системи координат  $X, Y, Z$  і являють собою лінійні переміщення відносно осей, додатній напрямок якого співпадають з напрямком осей координат.

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

Розрахунок плит виконували в лінійній постановці для навантажень, які відповідали крокам на-

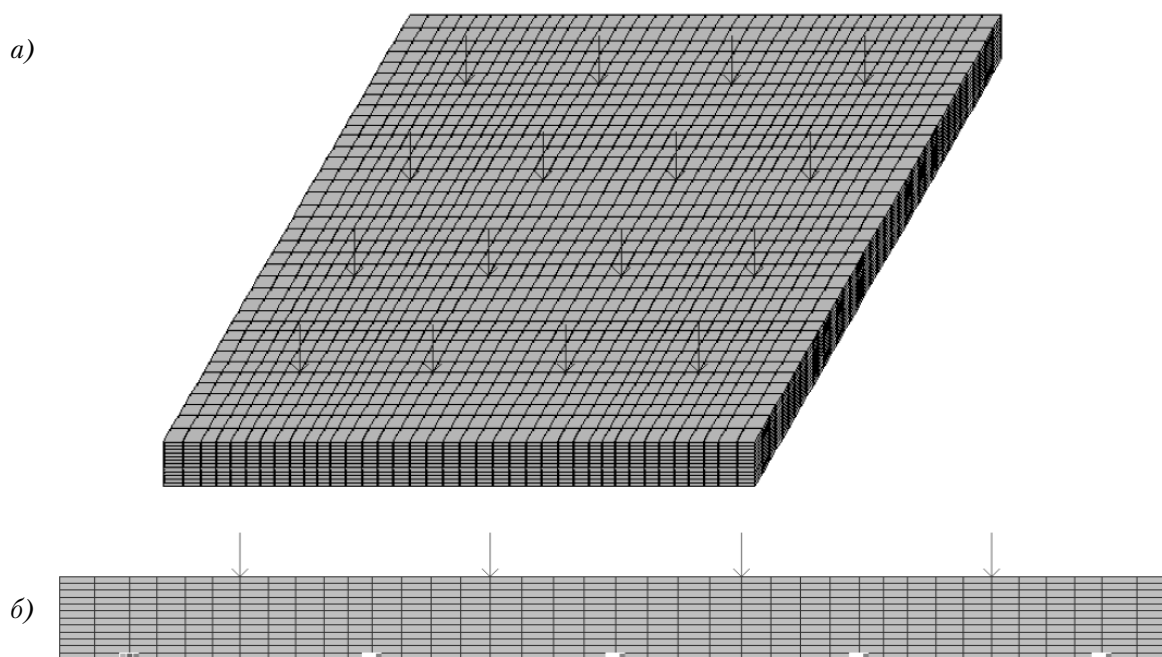


Рис. 4. Розрахункова схема плити в ПК ЛІРА-САПР: а – загальний вигляд; б – вид збоку

вантаження при випробуваннях. Для урахування нелінійних фізико-механічних властивостей матеріалу брали до уваги шляхом зміни значення модуля пружності понижувальними коефіцієнтами.

Початкові значення модуля пружності бетону, сталевібробетону – згідно з [2], а саме  $E_c=22,5 \cdot 10^3$  МПа,  $E_{cf}=23,8 \cdot 10^3$  МПа. Зважаючи на незначний відсоток армування ( $\mu_s=0,39\%$ ), арматуру до уваги не приймали.

Згідно з правилами [3] нелінійну роботу конструкції рекомендується враховувати шляхом введення понижувальних коефіцієнтів при визна-

ченні модуля пружності: 0,2 – при наявності тріщин або 0,3 – при відсутності тріщин.

Тому при розрахунках до утворення тріщин понижувальний коефіцієнт був прийнятий 0,3, після тріщиноутворення – 0,2. При розрахунках також враховували зниження жорсткості плити внаслідок утворення тріщин шляхом введення елементів нульової жорсткості в розтягнутій зоні на висоту тріщини. Висоту тріщини  $h_{cr}$  відраховували від крайнього розтягнутого волокна (рис. 6). В місцях опор жорсткість плити не знижували, для запобігання продавлювання плити по товщині.

Результати експериментальних досліджень та розрахунку одношарових плит в ПК ЛІРА-САПР наведені на рис. 7.

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.

Результати експериментальних досліджень та розрахунку двошарових плит в ПК ЛІРА-САПР наведені на рис. 8.

На рис. 7 і 8 позначено прийняті величини модуля пружності ( $E_i$ ) матеріалу, який знаходиться у стиснутій зоні бетону, висоту стиснутої зони бетону ( $h - h_{cr}$ ) і висоту тріщини ( $h_{cr}$ ) в залежності від рівня навантаження.

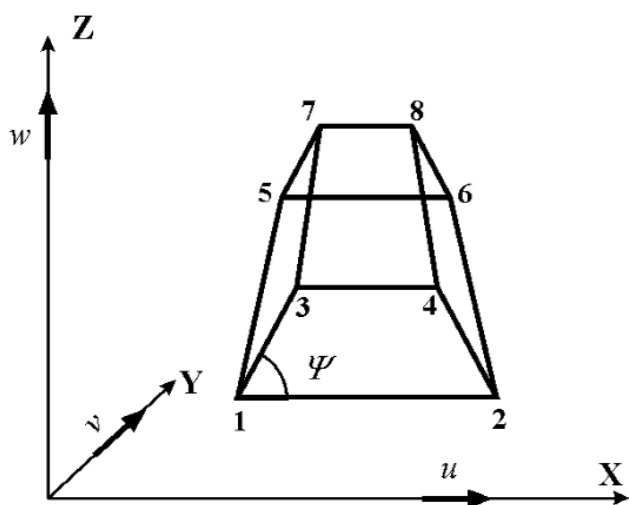


Рис.5. Схематичне зображення скінченного елемента SE-36

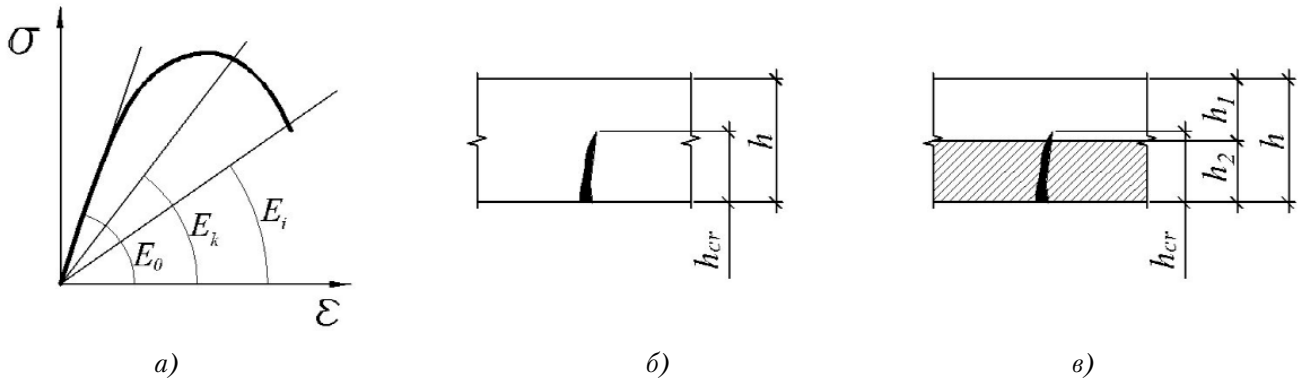


Рис. 6. До визначення параметрів ( $E_v$ ,  $h_{cr}$ ) для розрахунку плит :

а – величина модуля деформацій; б, в – висота тріщин одношарових (б) і двошарових (в) плит

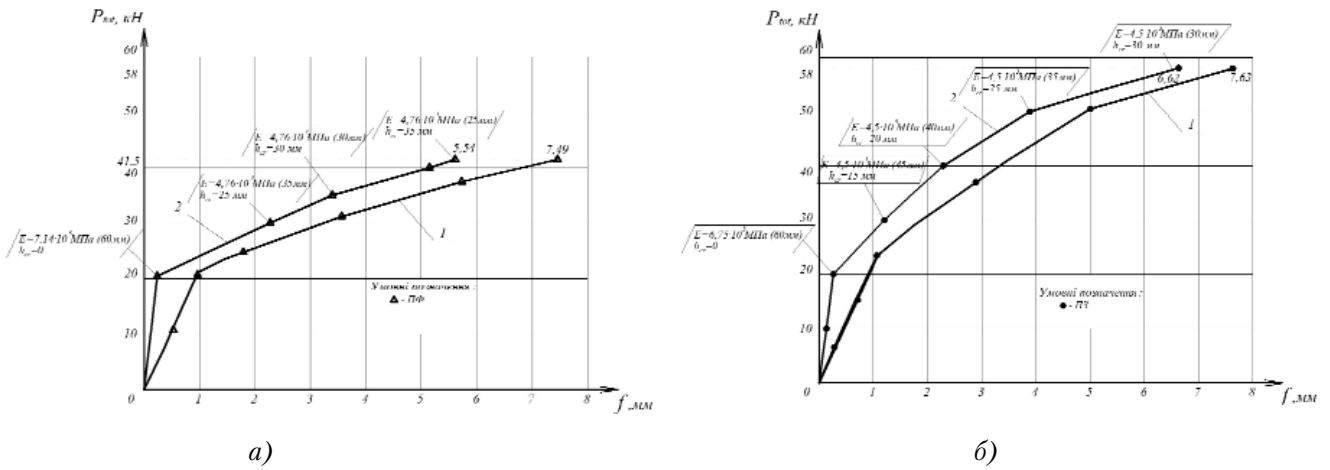


Рис. 7. Результати розрахунку прогинів одношарових плит серії I марки ПФ (а) і плит серії II марки ПЗ (б):  
1 – експериментальні; 2 – розрахункові в ПК ЛІРА-САПР

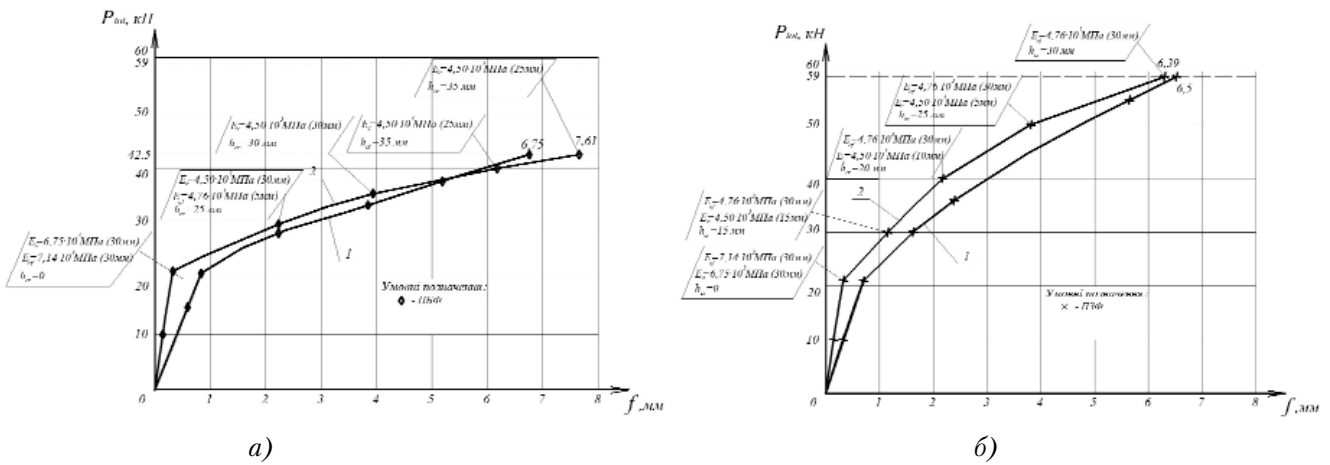


Рис. 8. Результати розрахунку прогинів двошарових плит серії III марки ПБФ (а) і плит серії IV марки ПЗФ (б): 1 – експериментальні; 2 – розрахункові в ПК ЛІРА-САПР

Обчислення свідчать, що розрахунок прогинів за умов виконання рекомендацій [4] Російських норм про зниження модуля пружності і урахування наявності тріщин висотою від 0,3 до 0,8 товщини, плити дають відносно велику похибку у порівнянні з експериментальними даними. Розбіжність результатів отримано в межах 10...30%. Це вказує на недостатню точність завдання згаданих параметрів.

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

### Висновки

1. Беручи до уваги сучасні тенденції, треба відмітити, що на порядок денний у загальних вимогах експлуатаційної надійності будівель і споруд виступає не стільки вимога міцності, скільки проблема жорсткості елементів та будівель у цілому. Тому вивчення жорсткості (найчастіше прогинів) дослідних плит здається вельми актуальним.

2. Ще одне питання, на яке відповідає ця робота: доцільність використання шаруватих плит. З точки зору жорсткості (прогинів) плит, двошарові плити мають перевагу: вони виявили прогини понад 10% менші, ніж у одношарових плит. Якщо додати більшу тріщиностійкість двошарових плит, то треба визнати використання двошарових плит цілком виправданим.

3. Розрахунки на ЕОМ за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР надають широкі можливості комп'ютерним технологіям розрахунку для визначення жорсткості (прогинів) як одношарових, так і шаруватих плит. Однак отримані результати розрахунків свідчать про недостатню точність у порівнянні з дослідними даними. Справа у тому, що дотримання нормативних рекомендацій, які були реалізовані при врахуванні нелінійної роботи конструкції шляхом введення понижуючих коефіцієнтів, інколи не відповідає реальним умовам деформування плит. Крім того, викликає сумніви щодо правильності визначення глибини розповсюдження тріщин по висоті плити, від чого залежить її фактична жорсткість.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Сморгалов Д.В. *Експериментальні дослідження двошарових плит* / А.Я. Барашиков, О.Д. Журавський, Д.В. Сморгалов // *Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. Зб. наук. праць. У 2-х книгах, книга 1* - К: ДНДІБК., 2003. – Вип. 59. – С. 109-114.

2. Барашиков А.Я. *Розрахунок міцності одно- і двошарових залізобетонних плит, опертих по контуру* / Барашиков А.Я., Сморгалов Д.В. // *Ресурсо-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук праць*. -Рівне: НУВГП, 2014 – Вип. 28. – С. 127-137.

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.

### АННОТАЦІЯ

Робота посвящена експериментально-теоретическим исследованиям плоских одно- и двухслойных бетонных (армированных и неармированных) плит в комбинации со слоем сталефибробетона, которые оперты по контуру под действием кратковременной поперечной нагрузки. Разработаны предложения относительно расчета прогибов плит на ПК ЛИРА-САПР.

Ключевые слова: сталефибробетон, двухслойные плиты, прочность, трещиностойкость, деформативность, прогиб.

### ANNOTATION

Work is devoted to experimental and theoretical studies of flat one- and two-layer concrete-paving (reinforced and not reinforced) slabs in combination with a layer steel fiber concrete that reliance on short-circuit under cross-load. It was developed proposals for the calculation of deflections plates on PK LIRA-SAPR.

Keywords: steel fiber concrete, two-layer boards, strength, crack strength, deformation property, deflection.