

УДК 624.0.12.4

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ
СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ПЛИТ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ
СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ ПЛИТ**

**EXPERIMENTAL STUDY OF STRENGTH STEEL FIBER CONCRETE
SLABS**

Скорук О.М., асистент (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

Скорук О.Н., ассистент (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Skoruk O.M., assistant (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

Викладені результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану одно-, і двошарових бетонних, залізобетонних та сталевіброзалізобетонних плит в комбінації з шаром сталевібробетона, що опереться по контуру під дією поперечного навантаження. Дослідженні характер руйнування, міцність дослідних плит.

Изложены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния плоских одно- и двухслойных бетонных (армированных и неармированных) плит в комбинации со слоем сталефибробетона, опирающихся по контуру под действием поперечной нагрузки. Исследованы характер разрушения, прочность плит.

Experimental and theoretical researches were conducted tensely deformed to the state one, and two-layer concrete, reinforce-concrete and steel fiber concrete slabs under the action of the transversal loading.

Ключові слова:

Сталевібробетон, жорсткість, міцність, плита, фібра.

Сталевібробетон, жесткость, прочность, плита, фибра.

Steel fiber concrete, stiffness, deflection, slab, fiber.

В умовах бурхливого росту будівельного комплексу, з'являється необхідність розширення використання бетонів високої міцності, розробка

нових конструктивних систем, дослідження роботи ефективних будівельних матеріалів і конструкцій. До найбільш ефективних сучасних будівельних матеріалів можна віднести сталеві фібробетон.

Сталеві фібробетон — це композитний матеріал, що складається з матриці — дрібнозернистого бетону та хаотично розташованих в ній коротких відрізків сталевих дроту — фібр, що рівномірно розподілені по об'єму.

Більшість робіт різних авторів присвячена балочним конструкціям, а от щодо роботи сталеві фібробетону у плитних конструкціях інформації небагато.

Отже, мета дослідження — розглянути і проаналізувати напружено-деформований стан сталеві фібробетону у плитних конструкціях під дією рівномірно-розподіленого поперечного навантаження.

Відповідно до поставленої мети досліджень було виготовлено 5 серій дослідних плит, по три плити в кожній серії. Для визначення ефекту покращення і порівняння властивостей матеріалу від введення фібр в бетонну матрицю було виготовлено зразки зі звичайного бетону, залізобетону та фібробетону. Об'єм та зміст експериментальних досліджень наведено у табл. 1. Як зразки використовували плити розмірами 800×800×75 мм та стандартні куби (100×100×100 мм) і призми (100×100×400 мм).

Для армування фібробетонних плит та фібробетонних шарів двошарових плит було вибрано два типи сталевих фібр, які мають різні конструктивні характеристики. Перший тип (Ф-1) — сталеві фібри з дроту хвилеподібної форми, відношення довжини до діаметру — 50. В експериментальних дослідженнях вміст зазначеного типу сталеві фібри прийнятий 1,5 % від об'єму матеріалу.

Другий тип (Ф-2) — сталеві анкерні фібри з дроту, яка має відношення довжини до діаметру — 40. Для проведення досліджень вміст сталеві анкерної фібри прийнятий 1,5 % від об'єму матеріалу для різних серій експериментальних зразків.

Крім того, досліджувалися властивості матеріалу, що містив суміш сталевих фібр двох типів — “фібровий коктейль”. Для експерименту було виготовлено такий склад “фібрового коктейлю”: 0,75 % хвильові фібри + 0,75 % анкерної фібри — 1,5 % об'ємного армування.

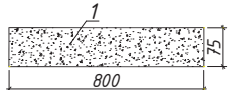
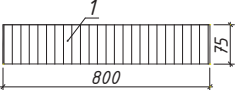
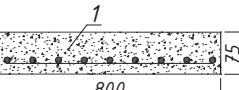
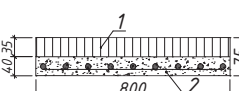
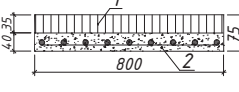
Для деяких серій експериментальних зразків, крім фібрового армування, використовували звичайну арматуру Ø 5 мм Вр-I і Ø 8 мм А400С. Механічні характеристики арматури визначали відповідно до нормативних документів.

Для порівняння деформаційних властивостей плит випробувані одношарові (серія I, II, III) і двошарові плити (серія IV, V), де шари сталеві фібробетону розташовані зверху (у стиснутій зоні), див. Табл. 1.

Для випробування дослідних плит використовувалася спеціальне обладнання для випробування плит опертих по контуру з можливістю створювати рівномірно-розподілене навантаження (Рис. 1).

Таблиця 1

Характеристика експериментальних зразків

№ серії	Марка	Вид зразків	Переріз	Склад
I	ПБ-1	Плита бетонна		1 - бетон
II	ПФ-1	Плита фібробетонна, тип фібри Ф-1		1 - фібробетон
	ПФ-2	Плита фібробетонна, тип фібри Ф-2		
III	ПЗ-1	Плита залізобетонна, арматура Ø 5 мм		1 - бетон
	ПЗ-2	Плита залізобетонна, арматура Ø 8 мм		
IV	ПФЗ-1	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-1)		1 - фібробетон 2 - залізобетон
	ПФЗ-2	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-2)		
V	ПФЗК-1	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-1, Ф-2 коктейль)		1 - фібробетон, (коктейль) 2 - залізобетон

З метою виявлення ступеню сумісної роботи плит, випробувані плити серія I, II, III – бетоні, сталеві фібробетонні та залізобетонні. Сталеві фібробетон не має додаткової стержневої арматури, оскільки дослідження різних авторів [2, 3, 5] свідчать про неефективність такого армування. При випробуванні поперечним навантаженням як одношарових, так і двошарових плит використовували одну розрахункову схему – плита шарнірно оперта по контуру. Зусилля на плиту прикладали за допомогою двох домкратів, через систему траверс у вигляді 16 зосереджених сил, моделюючи при цьому рівномірно розподілене навантаження.

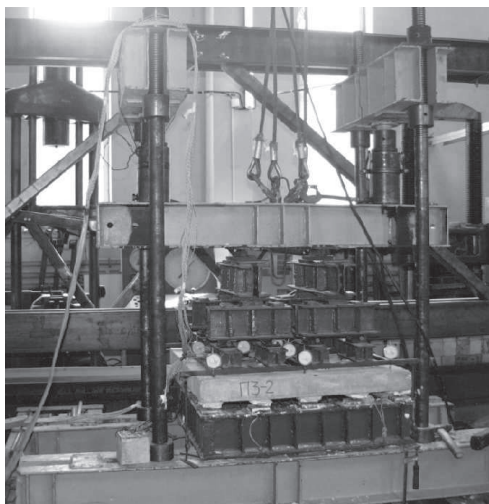


Рис. 1. Загальний вигляд обладнання для випробовування плит опертих по контуру з можливістю створювати рівномірно-розподілене навантаження

У процесі навантаження у центрі плити фіксували прогини, а також деформації над опорами за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. На нижній і верхній сторонах плити вимірювали деформації бетону за допомогою тензоризисторів з базою 50 мм (Рис. 2).

Для визначення фізико-механічних властивостей бетону і сталевібробетону виконано випробування кубів та призм згідно вимог ДСТУ статичним навантаженням на стиск у віці 28 діб і на момент випробовування плит. При цьому в призмах вимірювалися повздовжні і поперечні деформації бетону за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм. Для визначення механічних характеристик арматури було попередньо випробувано арматурні стержні, які використовувалися при армуванні плит.

Загальною картиною роботи плит при статичних і повторних навантаженнях, аж до їх руйнування є почергове проходження трьох стадій (Рис. 3). Це – стадія пружної роботи до появи першої тріщини, стадія експлуатації, тобто робота з тріщинами і стадія руйнування зразка.

Графік зростання прогинів згинальних елементів, у тому числі плит, опертих по контуру, характеризується трьома ділянками, на яких деформування конструкцій суттєво відрізняється. Перша ділянка поширюється до моменту утворення перших тріщин, а друга – до утворення пластичних шарнірів. До моменту появи перших тріщин, що приблизно відповідає 25...30 кН, прогини зростають повільно. З моменту появи тріщин інтенсивність прогинів значно збільшується. На третій ділянці прогини ростуть практично необмежено.

Більш значне зростання прогинів спостерігається на другій ділянці. Її визначають від 25 кН і до лінії, яка відповідає розвитку пластичних деформацій сталевібробетону і арматури в розтягнутій зоні. Тоді графік характеризуватиметься двома точками (Рис. 3): точкою 1, що відповідає початку утворення тріщин, і точкою 2, яка відповідає межі деформування розтягнутої зони (момент вичерпання несучої здатності).

На третій стадії роботи відбувається порушення зчеплення арматури з бетоном на ділянці між тріщинами, поступово тріщини розкриваються, збільшується їх кількість, зменшується висота стиснутої зони і зростають необоротні деформації бетону. Стадію три використовують при визначенні жорсткості та прогину плити з характеристичним навантаженням.

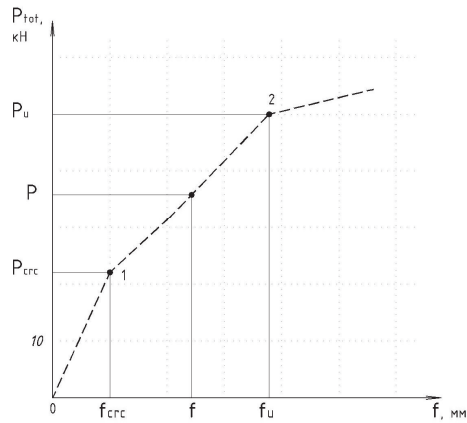


Рис. 3. Розрахункова схема прогинів плит:
1 – утворення тріщин; 2 – поява пластичних деформацій у розтягнутій зоні

Аналіз схем армування плит свідчить про передбачений традиційний характер зламу плит, завантажених рівномірним навантаженням (Рис. 5).

На нижній поверхні плит тріщини направлені по бісектрисам кутів і уявляють так званий «конверт». Верхня поверхня плит руйнувалась по лініям зламу в залежності від матеріалу стиснутої зони. Так в плитах I, III серії, які мали стиснуту зону з неармованого бетону, руйнування відбувалося по лініям зламу, що практично повторювали лінії зламу нижніх поверхонь плит. Плити серії II, IV, V, де стиснута зона представлена із сталевібробетону, практично не руйнувалися.

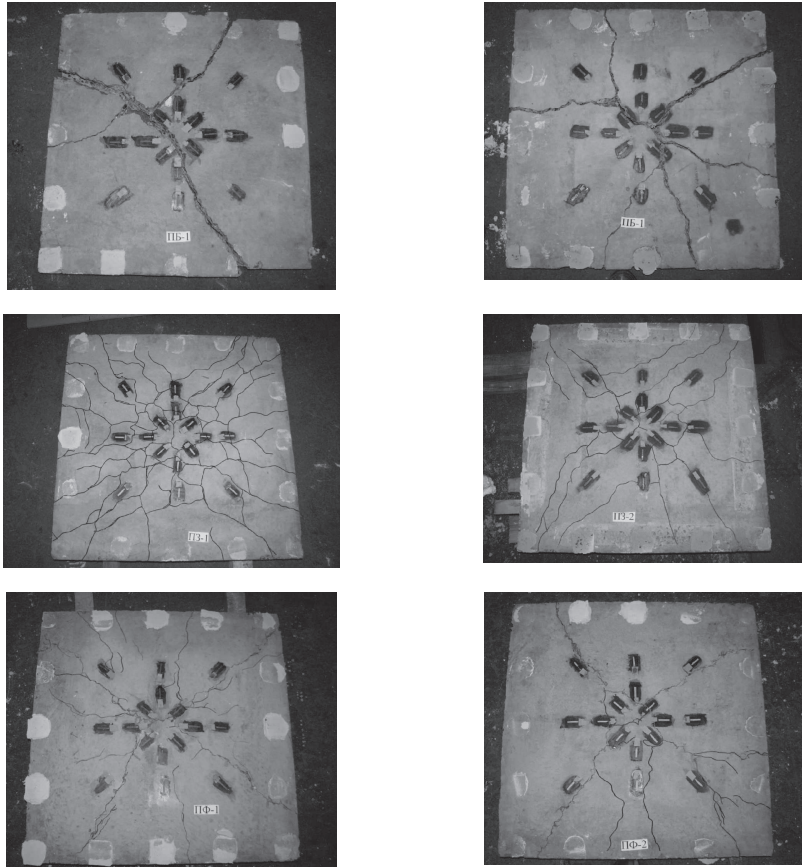


Рис. 4. Результати руйнування нижньої поверхні одношарових плит

Як свідчить (Табл. 2), традиційні конструктивні рішення плит у вигляді залізобетону з включенням поздовжньої арматури у розтягнутій зоні мають перевагу перед неармованим сталевібробетоном, як у одношарових, так і двошарових плит. Армвані у розтягнутій зоні залізобетонні плити виявились більше ніж на 30% міцніше, ніж плити з неармованим розтягнутим шаром сталевібробетону.

З появою тріщин робоча висота перерізу плити, тобто відстань від верху тріщини до стиснутої грані перерізу зменшується та розтягуючі напруження у волокнах над тріщиною зростають. Тріщина швидко розвивається і руйнування сталевібробетонної плити відбувається по перерізу, у якому з'явилася перша тріщина раніше, чим з'являються тріщини у решті перерізів. Міцність стиснутої зони залишається далеко не вичерпаною. Внаслідок

цього, ніяких ознак руйнування верхньої поверхні одношарових плит не виявлено. Ще один чинник збереження цілісності верхньої площини плити – відносна висока гранична деформація на стиск – 185×10^{-5} , що майже на 20% вище від важкого бетону.

В табл. 2 представлені значення сумарних навантажень, які відповідають зусиллям руйнування і тріщиноутворення дослідних плит.

Таблиця 2
Результати експериментальних досліджень плит

№ серії	Марка	Загальне зусилля на плити P_{tot} , кН		Зусилля тріщиноутворення P_{cr} , кН	
		кожної плити	середнє	кожної плити	середнє
I	ПБ-1	46,6	46,6	24	24
II	ПФ-1	51,2	50,45	27	27,5
	ПФ-2	49,7		28	
III	ПЗ-1	62,4	73,6	31	37,5
	ПЗ-2	84,8		44	
IV	ПФЗ-1	64,5	64,8	32	32,5
	ПФЗ-2	65,1		33	
V	ПФЗК-1	65,3	65,3	34	34

Така форма втрати несучої здатності показує, що руйнування плит проходило по нормальним перерізам як плити опертої по контуру. Тріщини, відкриваючись по висоті перерізу, виключають з роботи сталеві фібробетон. При досягненні висоти тріщини h_{cr} висоти шару сталеві фібробетону h_{sf} , тобто при $h_{cr} = h_{sf}$ прозодило повне руйнування плити.

Що стосується двошарових плит, то вони показали практично однакову міцність у порівнянні з одношаровими. Це сталося тому, що шар сталеві фібробетону за своїми міцнісними і деформативними характеристиками практично не відрізняються від важкого бетону. Тут вирішальну роль зіграла економічна доцільність використаного матеріалу.

Аналізуючи результати дослідження, встановлено, що усі зразки зруйнувалися за нормальними перерізами від дії згинальних моментів. При цьому, традиційні конструкції залізобетонних плит з поздовжнім армуванням у розтягнутій зоні мають переваги перед сталеві фібробетонними плитами, як у одношаровому, так і двошаровому виконанні.

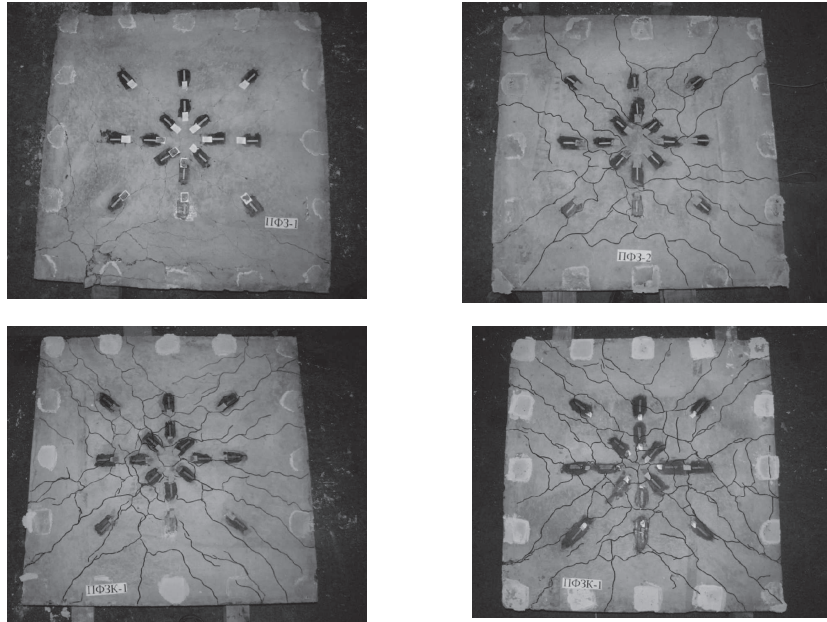


Рис. 5. Результати руйнування нижньої поверхні двошарових плит

Залізобетонні плити майже на 30% міцніші, ніж плити з неармованим шаром сталевібробетону. Виконані експериментальні дослідження свідчать про ефективність шаруватих плит. Комбіновані (двошарові) плити у порівнянні з одношаровими виявили стійку тенденцію поліпшення експлуатаційних якостей міцності.

Дані отримані в результаті експериментальних досліджень, будуть основою для розробки методики оцінювання напружено-деформованого стану сталевібробетонних плит.

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Настанова з проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій. Київ. Мінбуд України, С.63.
2. СП 52-101-03., 2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. Свод правил. Москва. Госстрой России, С.125.
3. Барашиков А.Я., 2003. Проблеми розвитку залізобетонних конструкцій в Україні. Будівельні конструкції. Київ. НДІБК. Випуск 59. Книга 1, С.17–21.
4. Лысенко Е.Ф., Гетун Г.В., 1989. Проектирование сталевібробетонный конструкций. Киев. Учебно-методический кабинет ВО УССР, С.183.
5. Сунак О.П., 2000. Оцінювання надійності сталевібробетонних елементів. Дис. канд. техн. наук. Луцьк, С.147.
6. Smorkalov D. 2014. Calculation of one- and two-layer slabs supported on four sides // Motrol. Commision of motorization and energetic in agriculture – Vol.16, № 8 PP, 45-53.