

УДК 624.0.12.4

Скорук О.М.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ОДНО-, ДВОШАРОВИХ БЕТОННИХ, СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ, СТАЛЕФІБРОЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ

*Наведені характеристики вихідних матеріалів і особливості виготовлення одно- і двошарових плит для дослідження і порівняння напружено-деформованого стану під дією поперечного малоциклового навантаження.*

*Ключові слова – сталеві фібробетон, фібра, сталеві фіброзалізобетон, двошарові плити, фібровий коктейль, фіброве армування.*

В останній час ведеться пошук найбільш ефективних будівельних матеріалів. Одним з таких матеріалів є сталеві фібробетон. Декілька десятиліть сталеві фібробетон успішно використовується в будівництві, а тому цей матеріал нового покоління заслуговує на особливу увагу.

Багато робіт присвячено дослідженню сталеві фібробетону, але в основному досліджувалися балочні конструкції. За результатами опрацювання літературних джерел встановлено що, досліди з одношаровими сталеві фібробетонними і сталеві фіброзалізобетонними плитами практично не проводилися. Про випробування двошарових плит, один з шарів яких виготовлений з сталеві фібробетону, а другий з бетону або залізобетону відомостей знайти не вдалося. Багато плит працюють за нерозрізною схемою і є доцільним дослідити їх роботу коли шар сталеві фібробетону знаходиться в стиснутій зоні, а на розтяг працює арматура.

Тому основна мета запропонованої роботи — виготовлення зразків для дослідження і порівняння напружено-деформованого стану одно-, двошарових бетонних, залізобетонних та сталеві фіброзалізобетонних плит під дією поперечного малоциклового навантаження. Об'єм та характеристика експериментальних зразків наведена у таблиці 1.

Як зразки планується використовувати плити розмірами 800×800×75 мм та стандартні куби (100×100×100 мм) і призми (100×100×400 мм).

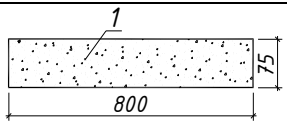
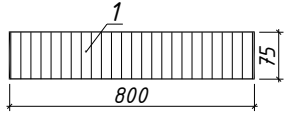
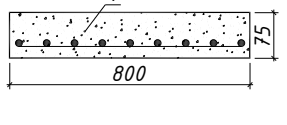
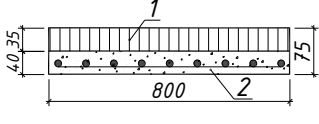
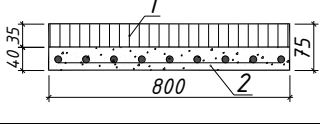
Для визначення ефекту покращення і порівняння властивостей матеріалу від введення фібр в бетонну матрицю було виготовлено зразки зі звичайного бетону, залізобетону та фібробетону (табл. 1).

Для армування фібробетонних плит та фібробетонних шарів двошарових плит було вибрано два типи сталевих фібр, які мають різні конструктивні

характеристики (рис. 1, а, б) і таблиця 2). Виготовляються фібри вітчизняним виробником ТОВ “Континенталь”, з низьковуглицевої проволочки, що має розривне зусилля 900-1400 Н/мм<sup>2</sup>.

Таблиця 1.

## Характеристика експериментальних зразків

№ серії	Марка	Вид зразків	Кількість, шт.	Переріз	Склад
I	ПБ-1	Плита бетонна	3		1 - бетон (по всьому об'єму)
II	ПФ-1	Плита фібробетонна, тип фібри Ф-1	3		1 - фібробетон (по всьому об'єму)
	ПФ-2	Плита фібробетонна, тип фібри Ф-2	3		
III	ПЗ-1	Плита залізобетонна, арматура Ø 5 мм	3		1 - бетон (по всьому об'єму)
	ПЗ-2	Плита залізобетонна, арматура Ø 8 мм	3		
IV	ПФЗ-1	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-1)	3		1 - фібробетон 2 - залізобетон
	ПФЗ-2	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-2)	3		
V	ПФЗК-1	Плита двошарова (залізо+фібробетон, тип фібри Ф-1, Ф-2 — коктейль)	3		1 - фібробетон, (коктейль) 2 - залізобетон

Перший тип (Ф-1) — сталеві фібри з дроту хвилеподібної форми, відношення довжини до діаметру —  $l_f/d_f = 50$ . Завдяки своїй геометрії, фібри мають добре зчеплення з бетонною матрицею, але їх введення в бетонний розчин обмежене 2 % об'ємного армування. При подальшому насиченні цим типом фібр бетонного розчину в процесі приготування спостерігається утворення комків зчеплених фібр, так званих “їжачків” які не дають можливість перемішуватися та рівномірно розподілятися фібрами по об'єму, що приводить до значного погіршення якості матеріалу. З іншого боку при введенні цього типу фібри в бетонну матрицю менше 0,65 % від об'єму, ефект покращення властивостей фібробетону по відношенню до бетону є незначним.

Тому 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 -  $l_f/d_f = 40$ . Враховуючи форму і анкерні кінці ці фібри мають також добре зчеплення з бетонною матрицею. 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 % хвильової фібри + 0,75 % анкерної фібри - 1,5 % об'ємного армування.

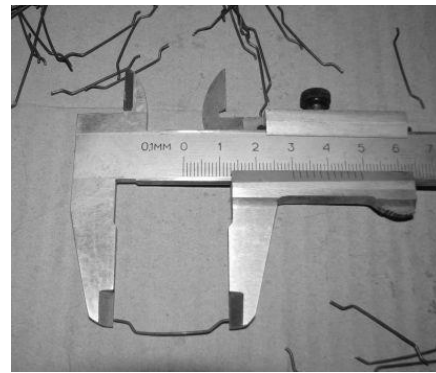
Таблиця 2.

## Характеристика фібр застосованих для експерименту

№	Найменування	Діаметр, мм	Довжина, мм	Висота, мм	Загальний вигляд (ескіз)
1.	Фібра з дроту хвилеподібної форми, тип Ф-1	1,0	50,0	2,0	
2.	Фібра з дроту, що має анкерні кінці, тип Ф-2	0,75	30,0	2,9	



а)



б)

Рис. 1. а) загальний вигляд фібри з дроту хвилеподібної форми, тип Ф-1;  
б) загальний вигляд фібри з дроту, що має анкерні кінці, тип Ф-2.

Необхідно відмітити, що вплив вибраних типів сталевих фібр на зміну властивостей фібробетону є характерним для більшості видів сталевих фібр, які застосовуються в будівництві.

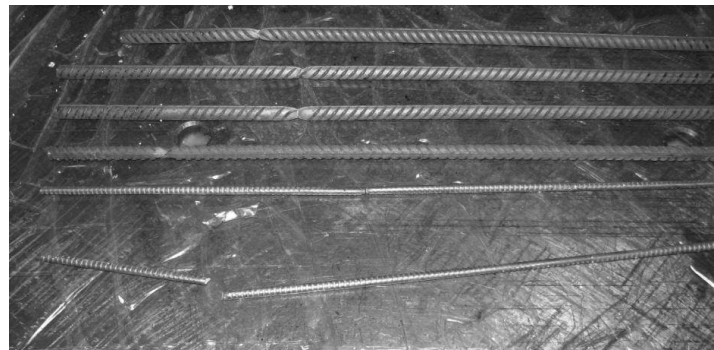
Також були виготовлені двошарові плити, де перший шар виконаний із залізобетону, а другий із фібробетону.

Для деяких серій експериментальних зразків, крім фібрового армування, використовували звичайну арматуру  $\varnothing 5$  мм Вр-І і  $\varnothing 8$  мм А400С. Механічні характеристики арматури визначали відповідно до нормативних документів (таблиця 3, 4; рис. 3 (а, б)). Випробування арматури виконувалися на

розривній машині Р-50, що повірена і атестована в установленому порядку в ДП “Укрметртестстандарт”. Загальний вигляд розривної машини і випробуваних зразків наведений на рис. 2 (а, б).

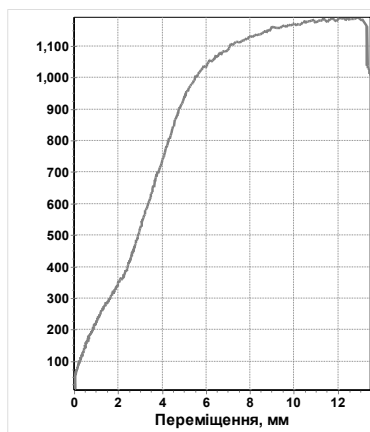


а)

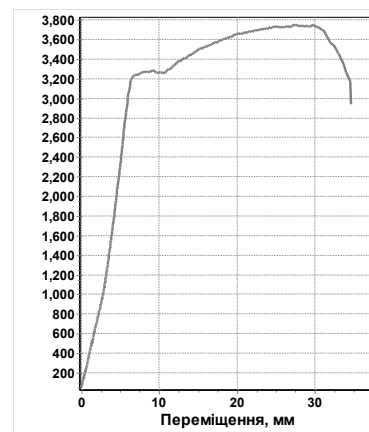


б)

Рис. 2. а) загальний вигляд випробування арматури Ø 8 мм на розривній машині Р-50; б) загальний вигляд випробуваних зразків арматури на розтяг Ø 5 мм та Ø 8 мм.



а)



б)

Рис. 3. а) діаграми випробування на розтяг арматури Ø 5 мм, класу Вр-I; б) діаграми випробування на розтяг арматури Ø 8, класу А500С.

Таблиця 3.

Механічні властивості арматури класу Вр-I, Ø 5 мм

№ стержня	Діаметр та клас арматури, мм	Площа перерізу, см <sup>2</sup>	Умовна межа текучості, МПа		Відносне подовження, %		Тимчасовий опір розриву, МПа		
1	Ø 5 мм, Вр-I	17,7	17,72	558,6	556,1	11,0	10,75	658,1	650,17
2	Ø 5 мм, Вр-I	17,7		555,5		11,0		661,0	
3	Ø 5 мм, Вр-I	17,7		580,7		12,0		663,7	
4	Ø 5 мм, Вр-I	17,8		529,6		9,0		617,9	

Дослідні зразки виготовляли в лабораторних умовах. Для бетонної матриці використано портландцемент М 400. Заповнювач бетонної матриці являє собою суміш двох компонентів: піску і гранітного щебеню, фракцією 5-10 мм.

Приготування суміші для всіх серій експериментальних зразків проводили з допомогою бетонозмішувача об'ємом 150 л. Для їх виготовлення застосовували звичайний бетон (серія плит I і III) і бетон + фібробетон (серія плит II, IV і V). При виготовленні фібробетону намагалися дотриматися таких вимог: рівномірного розподілення фібри по об'єму елемента.

Таблиця 4.

## Механічні властивості арматури класу А400С, Ø 8 мм

№ стержня	Діаметр та клас арматури, мм	Площа перерізу, см <sup>2</sup>		Умовна межа текучості, МПа		Відносне подовження, %		Тимчасовий опір розриву, МПа	
1	Ø 8 мм, А400С	55,3	54,82	574,7	566,22	26,0	24,5	665,1	658,77
2	Ø 8 мм, А400С	54,7		565,1		25,0		660,1	
3	Ø 8 мм, А400С	54,7		563,2		24,5		658,2	
4	Ø 8 мм, А400С	54,6		561,9		22,5		651,7	

Склад бетону для виготовлення експериментальних зразків був підібраний таким чином, щоб міцність бетонної матриці відповідала проектному класу бетону С20, (таблиця 5).

Таблиця 5.

Склад компонентів, які необхідні для виготовлення 1м<sup>3</sup> суміші

№	Тип заповнювача	Кількість, кг	Примітки
1	Пісок кварцовий	614	
2	Гранітний щебінь, фракція 5-10 мм	1376	
3	Портландцемент, М400	395	
4	Вода	132 л	
5	Стальна фібра:		Для елементів серії II, IV і V
	• тип Ф-1, $\mu_{fv}=1,5\%$	100	
	• тип Ф-2, $\mu_{fv}=1,5\%$	100	
6	Арматура:		Для плит серії III, IV і V
	• Ø 5 мм, Вр-I	89	
	• Ø 8 мм, А400С	41	

Для всіх серій, плити виготовляли в спеціально підготовлених металевих формах, по одній у кожній формі. Форма була виготовлена зі сталевого листа товщиною 8 мм, що утворював днище і кутика  $75 \times 5$  для бічних стінок. Днище і бічні стінки опалубки з'єднували між собою болтами, зовнішній вигляд форми для виготовлення однієї плити показаний на рис. 4 (а).



а)



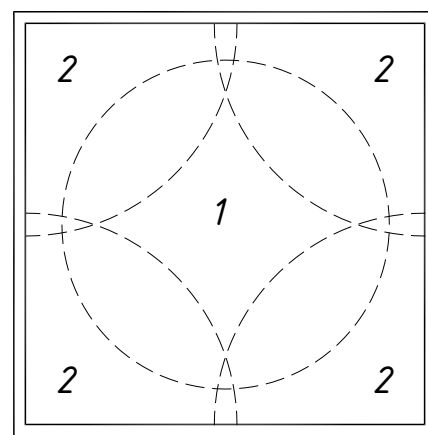
б)

Рис. 4. а) загальний вигляд форми для виготовлення експериментальних зразків плит; б) загальний вигляд форм для виготовлення стандартних кубів ( $100 \times 100 \times 100h$ ) і призм ( $100 \times 100 \times 400h$ ).

Суміш укладалася у форму почергово: спочатку в середину форми, а потім у її кутки, після чого ущільнювали на спеціально виготовленій віброплощадці (рис. 5 (а)), протягом 2-3 хвилин до появи цементного молочка. Порядок укладання суміші у форму показаний на рис. 5 (б).



а)



б)

Рис. 5. а) загальний вигляд віброплощадки для ущільнення експериментальних зразків; б) порядок укладання суміші у форму плит.

Відповідні експериментальні зразки виготовляли зі звичайного бетону. Для їх виготовлення застосовували компоненти, які наведені у таблиці 5. Плити формувалися у формах з горизонтальним вкладанням суміші. Протягом трьох діб плити поливали водою для зменшення нерівномірного тужавлення бетону.

Зразки розпалублювали через три доби, далі їх пересипали вологою тирсою та вкривали поліетиленовою плівкою і зберігали у такому середовищі протягом 28 діб. Подальше збереження зразків здійснювали у лабораторних умовах.

Бетонування двошарових плит проводилося у два етапи. На першому етапі бетонувалися залізобетонні шари. В якості наповнювачів використовувалися пісок і гранітний щебінь і армували в'язаними сітками з дроту класу Вр-І діаметром 5 мм з кроком 30 мм встановлених в двох напрямках, див. рис. 6 (а). Після бетонування на “свіжій” поверхні бетону робили насічку, див. рис. 6 (б).

На другому етапі, через чотири доби, добетонували фібробетонні шари зазначених плит.

Фібробетон містив сталеві фібри, типу Ф-1, Ф-2 (див. табл. 2) для кожного виду плит четвертої серії і їх “коктейль” для п'ятої. Об'ємний відсоток армування складав 1,5 %. Як бетонну матрицю використовували дрібнозернистий бетон без крупного заповнювача.



а)



б)

Рис. 6. а) загальний вигляд встановлення сітки з проволочки  $\varnothing 5$  мм у форму для плит IV і V серій; б) загальний вигляд насічок на поверхні першого шару двошарових плит.

Одночасно з бетонуванням дослідних зразків, кожної серії, проводили бетонування стандартних бетонних і фібробетонних зразків — кубів і призм у формах зображених на рис. 4 (б).

Куби формували у металевих касетних формах, див. рис. 4 (б) з горизонтальним вкладанням суміші по 3 зразки у кожній формі. Призми формували у дерев'яних формах по 6 зразків відповідно. Ущільнення суміші виконували за допомогою штикування та віброплощадки. Критерієм ущільненості вважалася поява цементного молочка на поверхні.

### Висновки

- Ефективність виготовлення одно- і двошарових плит визначається якістю використаних матеріалів: розміру заповнювачів (піску, щебеня), арматурної сталі і сталевих фібр.

- Склад дрібнозернистого бетону для сталевібробетону повинен бути таким, щоб гранулометрія заповнювачів була безперервною та рівномірною.
- При виготовленні сталевібробетонних зразків важливе значення відіграє форма арматурної фібри та об'ємний відсоток її армування.

### Список літератури

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Настанова з проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій. – К.: Мінбуд України – 2009. – 63 с.
2. ДСТУ 3760-2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. – К.: Держстандарт України – 2006.
3. ДСТУ В.2.6-98-2011. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – Київ, 2011.
4. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – Київ, 2011.

### Анотація

В статті розглядаються характеристики матеріалів та особливості виготовлення одно- та двохшарових плит для дослідження та порівняння напружено-деформованого стану під впливом малоциклової навантаження.

Ключевые слова: фибра, сталевібробетон, фибровий коктейль.

### Abstract

This article discusses characteristics of the materials and manufacturing features one- and two-layer boards for the study and comparison of stress-strain state under the influence of low-cycle load.

Key words: fiber, steel fiber concrete, fiber-reinforced concrete, dual-layer slabs.