

*У роботі розглянуті результати експериментальних досліджень впливу малоциклового навантаження на деформаційні характеристики шаруватих плит та проведено порівняння впливу малоциклового навантаження на різні моделі плит. Встановлені значення максимальних та залишкових деформацій розтягнутого шару сталевібробетону, досліджені діаграми деформування розтягнутого шару при малоцикловому навантаженні різних типів бетонних плит*

*Ключові слова: шаруваті плити, фібра, циклічне навантаження, деформації, бетон, залізобетон, сталевіброзалізобетон, методика*

*В работе рассмотрены результаты экспериментальных исследований влияния малоциклового нагружения на деформационные характеристики слоистых плит и проведено сравнение влияния малоциклового нагружения на разные модели плит. Установлены значения максимальных и остаточных деформаций растянутого слоя сталефибробетона, исследованы диаграммы деформирования растянутого слоя при малоциклового нагружении разных типов бетонных плит*

*Ключевые слова: слоистые плиты, фибра, циклическая нагрузка, деформации, бетон, железобетон, сталефиброжелезобетон, методика*

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАЛОЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШАРУВАТИХ ПЛИТ

**І. І. Глагола**

Головний інженер

Приватне підприємство Проектно-будівельна компанія «Євробуд»

вул. Вокзальна, 24,

м. Мукачеве, Україна, 89600

E-mail: yuzhiguts@gmail.com

## 1. Вступ

Будівельна індустрія є одним із головних споживачів металу. На виготовлення залізобетонних конструкцій в рік витрачається величезна кількість арматурної сталі. Останнім часом ведеться безперервний пошук нових ефективних будівельних матеріалів, а також конструкцій, які відповідатимуть новим підвищеним вимогам. Одним з перспективних напрямів створення нових ефективних будівельних конструкцій, які б забезпечували економію сталі, слід вважати конструкції з бетону, армованого сталевими волокнами, фібрами. Перевагою таких армованих бетонів є їх дешевизна та майже однакові по відношенню до залізобетонних аналогів міцнісні властивості.

Оскільки сталевібробетон краще ніж звичайний бетон працює на розтяг, в деяких випадках доцільно замінити розтягнуту зону цього матеріалу шаром фібробетону. Чисельні дослідження підтверджують, що фіброве армування не може повністю замінити стержньове, тому останнім часом знаходять застосування комбінованоармовані конструкції, виготовлені з сталевібробетону та армовані стержньовою арматурою. В таких конструкціях підвищена міцність сталевібробетону на розтяг може бути використана для підвищення їх тріщиностійкості та міцності, а також для зменшення ширини розкриття тріщин та прогинів у залізобетонних конструкціях [1 – 5].

## 2. Мета роботи

Визначити можливі галузі застосування армованого сталевібробетону та фібробетону замість залізобетону та бетону. Встановити властивості плит з сталевібробетону (ПСФБ), комбіновано армованого сталевіброзалізобетону (ПСФБК), двошарового сталевіброзалізобетону (ПСФБД) та порівняти їх з залізобетоном (ПЖБ).

## 3. Постановка проблеми і задач дослідження

Встановити значення максимальних та залишкових деформацій розтягнутого шару сталевібробетону, побудувати діаграми деформування розтягнутого шару при малоцикловому навантаженні плит серії ПСФБК та плит серії ПСФБД та порівняти їх з діаграмою плит з ПЖБ. Встановити середні значення деформації розтягнутого шару шаруватих плит при малоцикловому навантаженні.

## 4. Методика визначення деформацій та результати експериментальних досліджень

Методика визначення деформацій при малоциклово навантаженнях детально описана в роботі [6 – 11]. Для проведення досліджень були вибрані плити з сталевібробетону серії ПСФБК та плити серії ПСФБД.

Для порівняння вибрано плити з залізобетону. Першим зразком для отримання узагальнених даних були обрані плити серії ПСФБ (плити сталевібробетонні), виготовлені з чистого сталевібробетону без використання арматурної сітки.

Дослідження виконувалися за десять циклів. У одинадцятому циклі плиту доводили до руйнування. Згідно з умовами дослідження отримані значення максимальних та залишкових деформацій розтягнутого шару сталевібробетону. На першому циклі навантаження при 0,5 (P=17,16 кН) значення повних та залишкових деформацій становили відповідно:  $\epsilon_{max}=18,04 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=6,87 \cdot 10^{-5}$ . У подальших 6 циклах спостерігали повільне зростання деформацій:  $\epsilon_{max}=18,36 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=7,01 \cdot 10^{-5}$ . При подальшому навантаженні з 6 по 10-ий цикли спостерігався стабільний приріст деформацій розтягнутої зони у плиті.

Відмічено також, що плита з 4 по 7-ий цикли працювала стабільно без різких змін картини деформацій. Приріст деформацій як нових, так і залишкових склав 7,1 %.

Різке зростання деформацій сталевібробетону спостерігали внаслідок довантаження плити на 11-му циклі досліджень. Після руйнування зразка приріст деформацій становив майже 43,4 % у порівнянні з 10 циклом. Плита зруйнувалась одразу, тому що дослідженням не передбачалося використання арматурного каркасу. Після руйнування плити у її тріщинах виявили частку фібри, яка висмикнулася з тіла бетону, кількість якої складала до 9 % за масою (рис. 1, а, б).

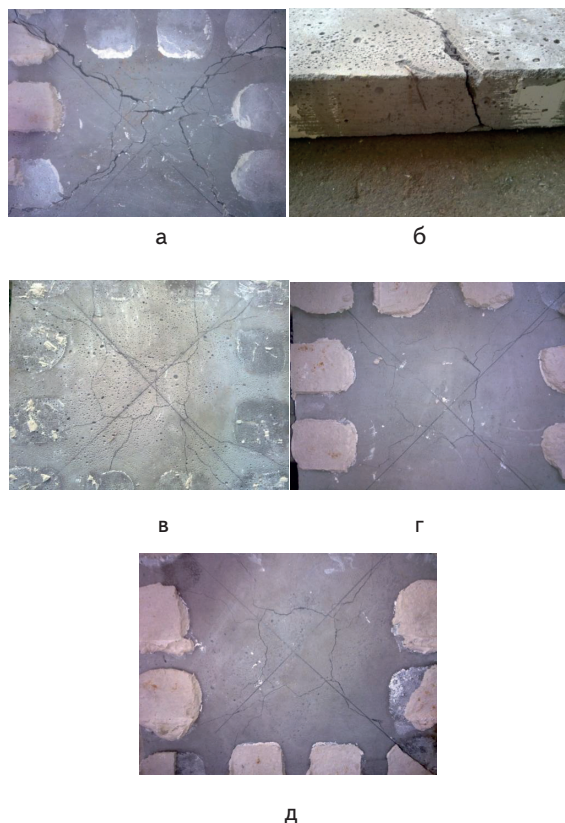


Рис. 1. Вигляд зруйнованих плит (розтягнутого шару): а та б – плита сталевібробетонна (ПСФБ), в – плита сталевіброзалізобетонна комбіновано армована (ПСФБК); г – плита сталевіброзалізобетонна двошарова (ПСФБД); д – плита залізобетонна (ПЖБ)

На рис. 1 показані зруйновані плити, а саме руйнування шару сталевіброзалізобетонної комбіновано армованої плити (1, в), сталевіброзалізобетонної двошарової плити (1, д) та залізобетонної плити (1, д) для порівняння. Всі подальші зразки випробовували при максимальному навантаженні у циклі, який складав 0,8 від руйнівного.

Плити серії ПСФБК (плити сталевіброзалізобетонні комбінованоармовані) досліджували при зміні малоциклових навантаження від 0 до 0,8. Повні та залишкові деформації у першому циклі становили:  $\epsilon_{max}=165 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=33 \cdot 10^{-5}$ . У 2-му циклі навантаження спостерігалось збільшення повних та залишкових деформацій  $\epsilon_{max}=191,5 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=46,48 \cdot 10^{-5}$ . Починаючи з 3 циклу виявилось їх повільне (поступове) зменшення. У 3-му циклі вони становили  $\epsilon_{max}=215 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=53,64 \cdot 10^{-5}$ , у 4 та 5  $\epsilon_{max}=233,75 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=57,67 \cdot 10^{-5}$  і  $\epsilon_{max}=248,75 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=62,18 \cdot 10^{-5}$  відповідно.

У наступних циклах спостерігали стабілізацію приросту деформацій у циклі:  $\epsilon_{max}=262 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=63,92 \cdot 10^{-5}$ , а у 7 циклі:  $\epsilon_{max}=276 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=68,67 \cdot 10^{-5}$ .

При навантаженні з 8 по 10-ий цикли спостерігали поступовий приріст деформацій, а саме, повні деформації становлять  $\epsilon_{max}=309,283 \cdot 10^{-5}$ , а залишкові –  $\epsilon_{зал}=76,65 \cdot 10^{-5}$  (рис. 2).

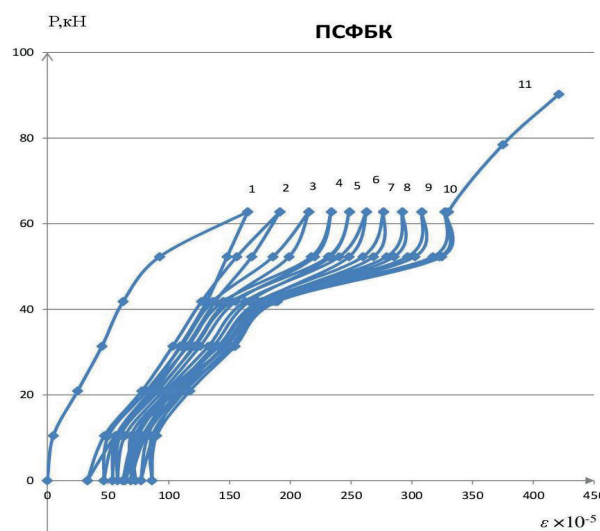


Рис. 2. Діаграма деформування ( $\epsilon$ ) розтягнутого шару при малоцикловому навантаженні (P) плит серії ПСФБК (сталевіброзалізобетонні комбіновано армовані)

Різке зростання деформацій сталевібробетону спостерігали внаслідок довантаження плити у 11-му циклі дослідження. Після руйнування зразка приріст деформацій становив майже 43,4 %, порівняно із 10 циклом.

Плити серії ПСФБД (плити сталевіброзалізобетонні двошарові) також випробовували при навантаженні до 0,8 від руйнівного. Деформації розтягнутого шару бетону таких плит мали подібний характер розвитку до плит ПСФБК (рис. 3), проте значення деформацій були вищими порівняно з плитами серії ПСФБК (рис. 2) та плитами з ПЖБ (рис. 4).

Повні та залишкові деформації плит серії ПСФБД у першому циклі навантажень становили  $\epsilon_{max}=262 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{зал}=65 \cdot 10^{-5}$ , що більше ніж на 60 % та 50 % у порівнянні з такими ж показниками плит серії ПСФБК, деформа-

ції яких склали  $\epsilon_{\max}=165 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{\text{зал}}=33 \cdot 10^{-5}$  відповідно (табл. 1). Далі в зразках серії ПСФБД починаючи з 3 до 6 циклу навантаження спостерігалось поступове зменшення та стабілізація приросту деформації. Повні та залишкові деформації зменшуються в середньому на  $\epsilon_{\max}=9 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{\text{зал}}=5 \cdot 10^{-5}$ . При подальшому навантаженні з сьомого циклу спостерігається поступове збільшення як повних, так і залишкових деформацій (табл. 1) у зразках серії ПСФБК, а у плитах серії ПСФБД на 11-му циклі плити були зруйновані. При цьому значення повних та залишкових деформацій порівняно з 10 циклом становили  $\epsilon_{\max}=440 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{\text{зал}}=110 \cdot 10^{-5}$  (рис. 3).

Плити серії ПЖБ (плити залізобетонні) були випробувані для порівняльного аналізу впливу малоциклового навантаження на деформаційні характеристики сталевібробетону. Ці зразки також були випробувані при циклічному навантаженні 0,8 від навантаження руйнування (рис. 4).

При порівнянні отриманих даних повних та залишкових деформацій вже у першому циклі помітно, що вони відрізняються від зразків ПСФБК і ПСФБД (рис. 2, 3). Це пояснюється наявністю фібри у зразках серії ПСФБК та ПСФБД.

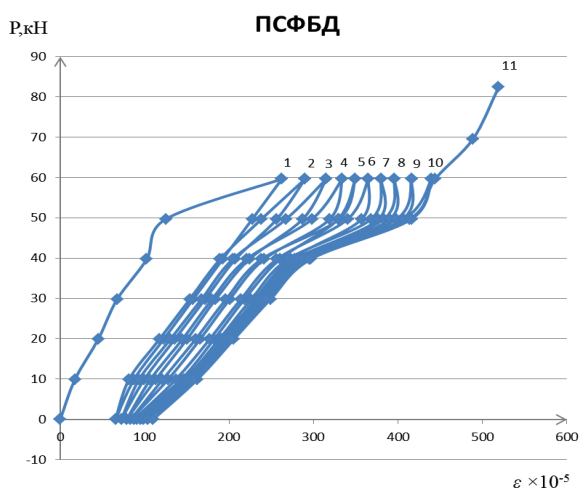


Рис. 3. Діаграма деформування ( $\epsilon$ ) розтягнутого шару при малоцикловому навантаженні (P) плит серії ПСФБД (сталевіброзалізобетонні двохшарові)

Таблиця 1

Середні значення деформації розтягнутого шару шаруватих плит при малоцикловому навантаженні, середні відносні деформації розтягнутого шару  $\epsilon \cdot 10^{-5}$

№ циклу	ПСФБК при 0,8		ПСФБД при 0,8		ПЖБ при 0,8	
	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\text{зал}}$	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\text{зал}}$	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\text{зал}}$
1	165	33,00000	262,5	65,625	407,50	135,8333
2	191,5	46,48058	290	72,500	427,50	146,8467
3	215,25	53,64620	315	78,750	462,50	158,3091
4	233,75	57,67333	334	83,500	497,50	170,7275
5	248,75	62,18750	349,5	87,375	537,50	184,5747
6	262,75	63,92944	365	91,182	587,50	201,4256
7	276,75	68,67246	380	95,000	642,50	216,9875
8	292,25	72,60870	396,05	99,013	697,50	235,5297
9	308,3	77,07500	416,19	104,048	757,50	255,8076
10	327,3	86,13158	440	110,000	857,50	298,3335

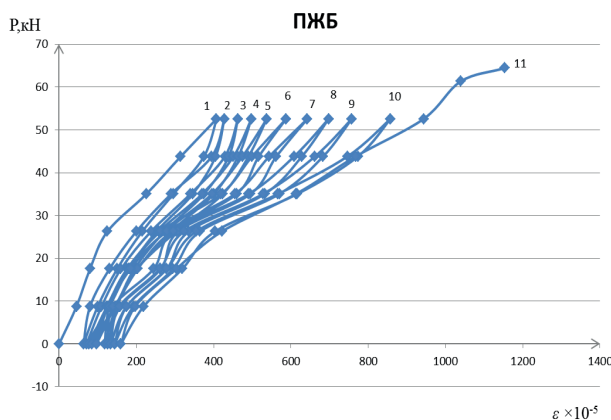


Рис. 4. Діаграма деформування ( $\epsilon$ ) розтягнутого шару при малоцикловому навантаженні (P) плит серії ПЖБ (залізобетонні)

Відмічено, що у зразках серії ПЖБ відбувається поступовий приріст повних та залишкових деформацій. З кожним новим циклом приріст становив  $\epsilon_{\max}=18 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{\text{зал}}=3 \cdot 10^{-5}$  (табл. 1). За аналогією з попередніми зразками плити цієї серії були доведені до руйнування на 11-му циклі навантаження. У плитах серії ПЖБ спостерігалось різке зростання деформацій – на 68 %. У порівнянні із зразками серії ПСФБК різниця становила 60 % та 75 %, а із зразками серії ПСФБД – 40 % та 50 % відповідно, що також пов'язано з фіброю у складі зразків серії ПСФБК та ПСФБД. У зразка ПЖБ протягом 3 та 4-го циклів відбувається поступове зростання деформацій розтягнутого бетону ( $\epsilon_{\max}=497 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{\text{зал}}=170 \cdot 10^{-5}$ ). Ці деформації на 60 % більші ніж у зразках серії ПСФБК та на 35 % більші ніж у зразках серії ПСФБД. У десятому циклі навантаженні спостерігалася відносна стабілізація приросту повних та залишкових деформацій, зокрема, у цьому циклі деформації склали для ПСФБК –  $\epsilon_{\max}=327 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{\text{зал}}=86 \cdot 10^{-5}$ , для ПСФБД –  $\epsilon_{\max}=440 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{\text{зал}}=110 \cdot 10^{-5}$  та для ПЖБ –  $\epsilon_{\max}=857 \cdot 10^{-5}$  та  $\epsilon_{\text{зал}}=298 \cdot 10^{-5}$ . Необхідно відмітити, що у процесі дослідження плит серії ПЖБ у останньому циклі навантаження виявилось найінтенсивніше зростання максимальних та залишкових деформацій у порівнянні з попередніми зразками. Таким чином, значення повних та залишкових деформацій у десятому циклі значно зросли порівняно з першим циклом навантаженням, а саме для плит ПСФБК на 100 %, для плит ПСФБД на 120 % та для плит ПЖБ на 150 % відповідно.

## 5. Висновки

Виконанні дослідження та аналіз отриманих результатів дозволяють зробити такі висновки:

1. Встановлено можливі області ефективного використання армованого сталевібробетону та фібробетону замість залізобетону та бетону, а саме там, де необхідне підвищення тріщиностійкості та міцності та для зменшення прогинів у залізобетонних конструкціях.

2. Визначено максимальні та залишкові деформації розтягнутого шару сталевібробетону для циклів навантаження від 1 до 10.

3. Встановлено деформаційні характеристики шаруватих плит з сталевібробетону, комбіновано армованого сталевіброзалізобетону, двошарового сталевіброзалізобетону під дією малоциклового навантаження та порівняно їх з залізобетоном. Так наприклад для 10-го циклу навантаження для плит ПСФБК  $\epsilon_{\max}=327,3 \cdot 10^{-5}$  і  $\epsilon_{\text{зал.}}=86,13158 \cdot 10^{-5}$ , в той час як для плит ПЖБ ці показники  $857,50 \cdot 10^{-5}$  та  $298,3335 \cdot 10^{-5}$  відповідно.

4. Побудовано діаграми деформування розтягнутого шару при малоциклового навантаженні плит серії

ПСФБК та плит серії ПСФБД та порівняно їх з діаграмою плит із залізобетону.

5. Виявлено, що зразки серії ПСФБК та ПСФБД набагато краще сприймають циклічне навантаження ніж зразки серії ПЖБ, що пов'язано з їх шаруватою структурою та фібровим або стержньовим армуванням.

6. Помічено, що у зразках серії ПСФБК та ПСФБД протягом усього циклічного навантаження спостерігається поступова пристосовуваність до навантаження за виключенням 10 та 11 циклів.

#### Література

1. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов [Текст] / В. В. Васильев. – К.: Наукова думка, 1988. – 272 с.
2. Harris, D. Flexural lateral load distribution characteristics of sandwich plate system bridges parametric investigation [Текст] / D. Harris, T. Cousins, E. Sotelino, T. Murray // J of Bridge Engineering. – 2010. – Т. 3(15). – Р. 684-694.
3. Горик, О. В. Теоретико-експериментальні дослідження згину тришарових брусів [Текст] / О. В. Горик, В. Г. Піскунов, В. М. Чередніков // Проблемы прочности. – 2000. – № 3 (345). – С. 76-85.
4. Wadley, H. N. Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures [Текст] / H. N. Wadley, N. A. Fleck, A. G. Evans // Composite Science and Technology. – 2003. – Т. 63 (13). – Р. 2331-2343.
5. Valdevit, L. Structural performance of near-optimal sandwich panels with corrugated cores [Текст] / L. Valdevit, Z. Wei, C. Mercer, F. W. Zok // Evans International J of Solids and Structures. – 2006. – Т. 43 (16). – Р. 4888-4905.
6. Глагола, І. І. Порівняння характеру руйнування шаруватих сталевібробетонних плит [Текст] / І. І. Глагола // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. зб. – К.: КНУБА. – 2010. – № 38. – С. 114.
7. Ahn, D. G. Failure characteristics of a thin metallic sandwich plate with metallic sheared dimple cores under low-velocity impact loading [Text] / D. G. Ahn, W. C. Jeong // J of Mechanical Science and Technology. New York: KSME and Springer. – 2013. – Т. 27 (10). – Р. 2941-2946.
8. Seong, D. Y. Efficient prediction of local failures for metallic sandwich plate with pyramidal truss cores during the bending process [Text] / D. Y. Seong, C. G. Jung, D. Y. Yang, W. J. Chung // International J of Precision Engineering and Manufacturing. – 2011. – Т. 12 (3). – Р. 491-503.
9. Deshpande, V. S. Collapse of truss core sandwich beams in 3-point bending [Text] / V. S. Deshpande, N. A. Fleck // International J of Solids and Structures. – 2001. – Т. 38 (36 – 37). – Р. 6275-6305.
10. Pingle, S. M. Collapse mechanism maps for the hollow pyramidal core of a sandwich panel under transverse shear [Text] / S. M. Pingle, N. A. Fleck, V. S. Deshpande, H. N. Wadely // International J of Solids and Structures. – 2011. – Т. 48 (25-26). – Р. 3417-3430.
11. Vaziri, A. Performance and failure of metal sandwich plates subjected to shock loading [Text] / A. Vaziri, Z. Xue, J. W. Hutchinson // J of Mechanics of Materials and Structures. – 2007. – Т. 2 (10). – Р. 1947-1963.