

Скорук О.М., Чорний І.В., Татарченко Г.О.

ПРОГИНИ ТОНКИХ СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ПЛИТ ОПЕРТИХ ПО КОНТУРУ

Проводилися експериментальні та теоретичні дослідження напружено-деформованого стану одно-, і двошарових бетонних, залізобетонних та сталевібробетонних плит під дією поперечного малоциклового навантаження. При вивченні деформацій опертих по контуру плит під дією рівномірного навантаження приведена обробка власних експериментальних досліджень та порівняння дослідних прогинів зазначених плит з теоретичними розрахунками за різними методиками та діючими нормативними документами.

Ключові слова: сталевібробетон, жорсткість, міцність, плита, фібра.

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

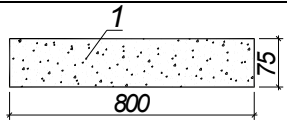
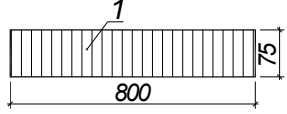
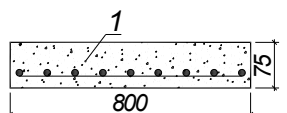
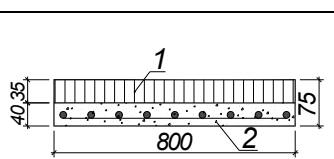
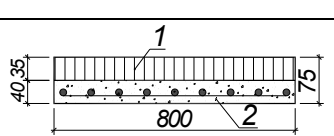
Ефективним з точки зору нових форм є впровадження комбінованих шаруватих конструкцій. Як показує досвід, найбільш доцільним і ефективним є використання одно- та двошарових систем, де нижній шар виконується з армованого залізобетону, верхній – із сталевібробетону.

Мета роботи. Оцінити прогини сталевібробетонних плит опертих по контуру при повторних малоциклових навантаженнях на прикладі тонких одно- та двошарових плит.


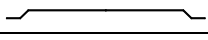
Основний матеріал. Для порівняння роботи шаруватих конструкцій проводилися експериментальні дослідження напружено-деформованого стану одно-, і двошарових бетонних, залізобетонних та сталевіброзалізобетонних плит під дією поперечного малоциклового навантаження. Об'єм та характеристика експериментальних зразків наведена у таблиці 1. Тип застосованих сталевих фібр і їх характеристика представлена у таблиці 2.

Таблиця 1.

Об'єм експериментальних досліджень

№ 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 класу Вр-І	3		1 - бетон (по всьому об'єму)
	ПЗ-2	Плита залізобетонна, арматура Ø 8 мм класу А500С	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

Характеристика фібр застосованих у експериментальних зразках

№	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, анкерна, тип Ф-2	0,75	30,0	2,9	

Як зразки використовувались плити розмірами 800×800×75 мм.

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. таблицю 1. З метою виявлення ступеню сумісної роботи плит випробувані одношарові плити серія I, II, III — бетонні, сталеві фібробетонні та залізобетонні. Сталеві фібробетон не має додаткової стержневої арматури, оскільки дослідження різних авторів свідчать про неефективність такого армування.

Для армування залізобетонних плит прийнята арматура $\varnothing 5$ мм класу Вр-I і арматура $\varnothing 8$ мм класу А500С. Арматурні стержні в серіях III, IV, V розташовані у розтягнутій зоні із захисним шаром бетону товщиною 15 мм.

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

У процесі навантаження у центрі плит 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 тензорезисторів з базою 50 мм.

Характер деформування дослідних зразків у зонах з тріщинами залежить від схеми тріщин, тобто від орієнтування тріщин відносно напрямку армування, взаємного перетину тріщин, виникнення тріщин на одній або на обох поверхнях елемента (наскрізні або не наскрізні тріщини). Наскрізні тріщини зустрічаються у разі безмоментного напруженого стану або при додатковій дії невеликих моментів.

Прийняті конструктивні рішення та методика випробування реалізує різні види руйнування зразків: без тріщин у стиснутій зоні та з тріщинами у стиснутій зоні.

Загальною картиною прогинів плит при повторних навантаженнях, аж до їх руйнування є по чергове проходження трьох стадій (див. рис. 1). Це – стадія пружної роботи до появи першої тріщини, стадія експлуатації, тобто робота з тріщинами і стадія руйнування зразка.

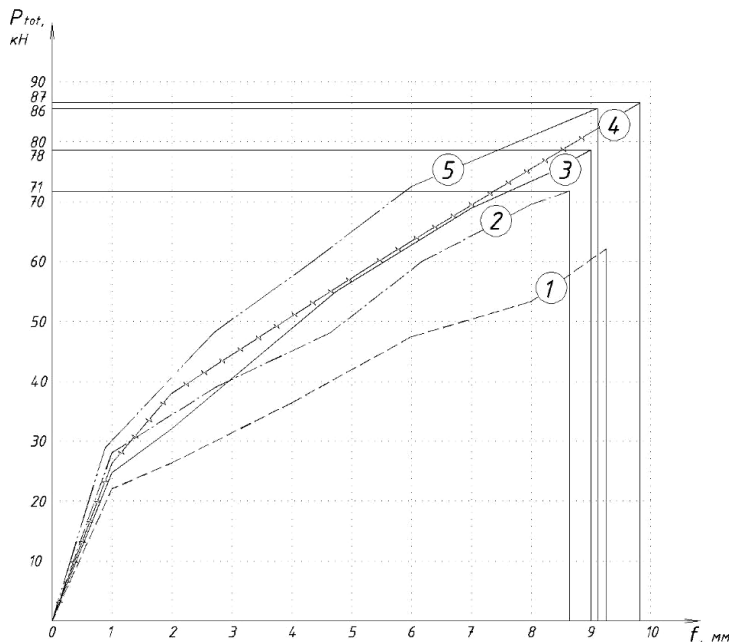


Рис. 1. Графік прогинів у центрі дослідних плит.

1 – плити типу ПФ; 2 – плити типу ПБ; 3 – плити типу ПЗ; 4 – плити типу ПФЗ; 5 – плити типу ПФЗК

На рис. 2 наведено фото характеру руйнування дослідних плит. Аналіз схем армування плит свідчить про передбачений традиційний характер зламу плит, завантажених рівномірним навантаженням. На нижній поверхні плит тріщини направлені по бісектрисам кутів і уявляють так званий «конверт». Верхня поверхня плит руйнувалася по лініям зламу в залежності від матеріалу стиснутої зони. Так в плитах I, III серії, які мали стиснуту зону із нерамованого бетону, руйнування відбувалося по лініям зламу, що практично повторювали лінії зламу нижніх поверхонь плит. Плити серії II, IV, V, де стиснута зона представлена із сталеві фібробетону, практично не руйнувалися.

Проаналізувавши результати про деформації у стиснутій зоні плит різних серій, дійшли висновку, що доцільно прийняти форму епюри напружень трикутну для серій I, II, а для серій III, IV, V – прямокутну.

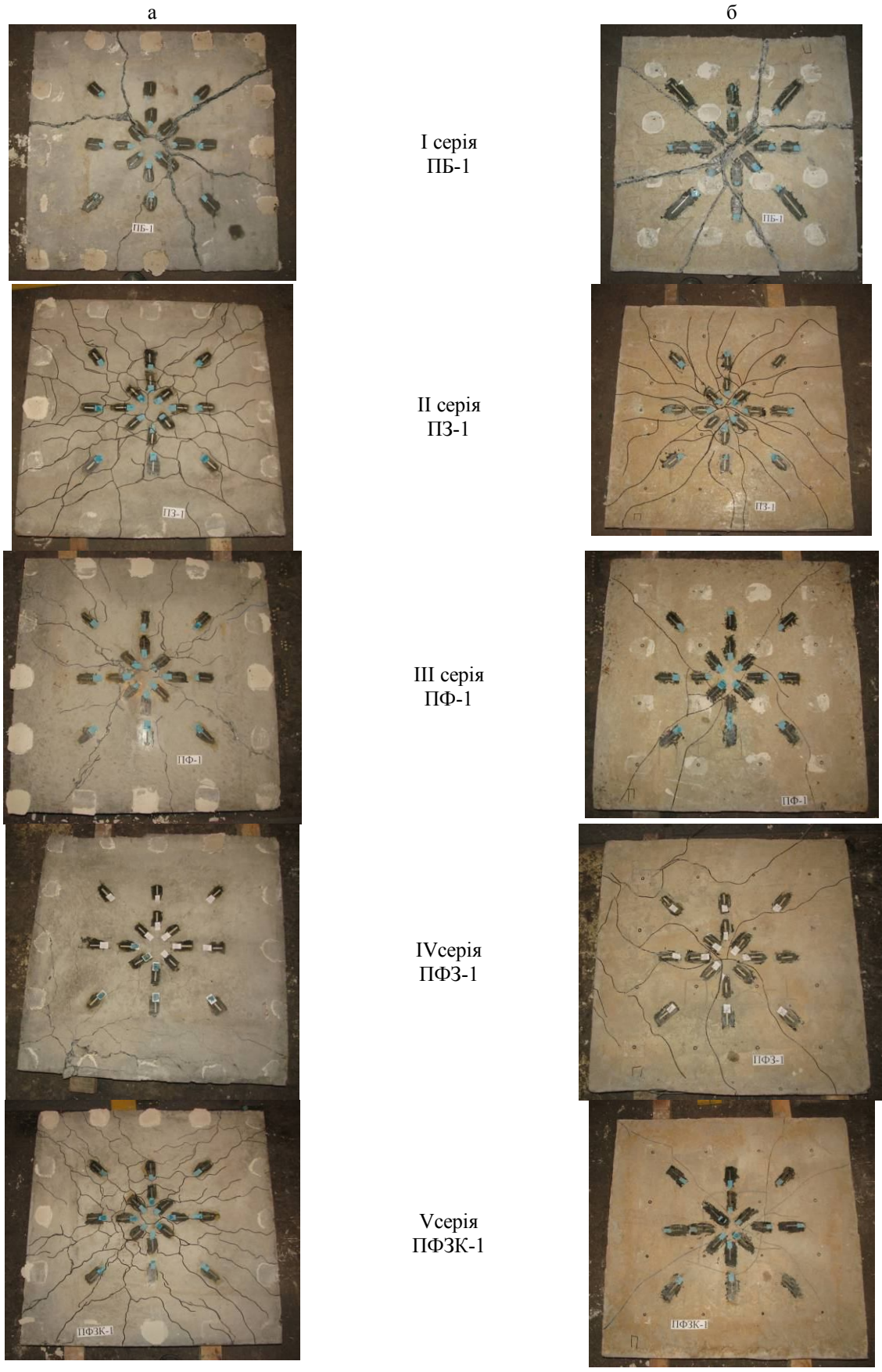


Рис. 2. Загальний вигляд характеру руйнування нижньої та верхньої поверхні плит.
а — нижня поверхня плити; б — верхня поверхня плити

Критерієм руйнування тонких плит слід вважати розділення на плоскі ланки, об'єднанні по лініям зламу пластичними шарнірами.

Аналіз прогинів дозволив встановити деякі закономірності перебігу у залежності від конструктивних особливостей дослідних плит. Незважаючи на те, що міцнісні та деформативні характеристики одношарових і двошарових плит були близькі між собою, проглядаються у різних типах плит тенденції відмінності у експлуатаційних якостях

Так, встановлено, що одношарові плити мають більші прогини, ніж двошарові. У той час одношарові плити у розтягнутій зоні більше гнучкі за одношарові неармовані плити зі сталевібробетону. Це викликано підвищенням модуля пружності сталевібробетону у порівнянні з важким бетоном і меншою шириною розкриття тріщин.

У двошарових плитах зафіксовані загальні прогини на 12-20% менші, ніж у одношарових. Тут свій вплив має підвищений приведений модуль пружності за рахунок шару сталевібробетону. Така тенденція з прогинами зберігається на експлуатаційному рівні навантаження — $(0,7 \dots 0,8)P_u$.

Пропозиції щодо розрахунку. При вивченні деформацій опертих по контуру плит під дією повторного малоциклового рівномірного навантаження приведена обробка власних експериментальних досліджень та порівняння дослідних прогинів зазначених плит з теоретичними розрахунками за різними методиками.

Перш за все перевіряли відповідність отриманих прогинів розрахованими за формулами теорії пружності. Виходячи з формули (1) Б.Г. Галеркіна, для квадратної плити, опертої по контуру, прогин по центрі плити від рівномірно-розподіленого навантаження становить:

$$f = 0,04706 \frac{ql^4}{E_i h^3}, \quad (1)$$

де q - рівномірно-розподілене навантаження;

l - розрахунковий проліт плити;

h - висота плити;

$E_i = E_c = E_f$ - модуль пружності відповідно для важкого бетону і сталевібробетону.

Для порівняння результатів розрахунків прогинів плит, використали методіку В.Н. Мурашова, який використавши формулу Б.Г. Галеркіна, виразив циліндричну жорсткість через жорсткість на одиницю ширини плити. Такий прийом рекомендує СНиП 2.03.01-84.

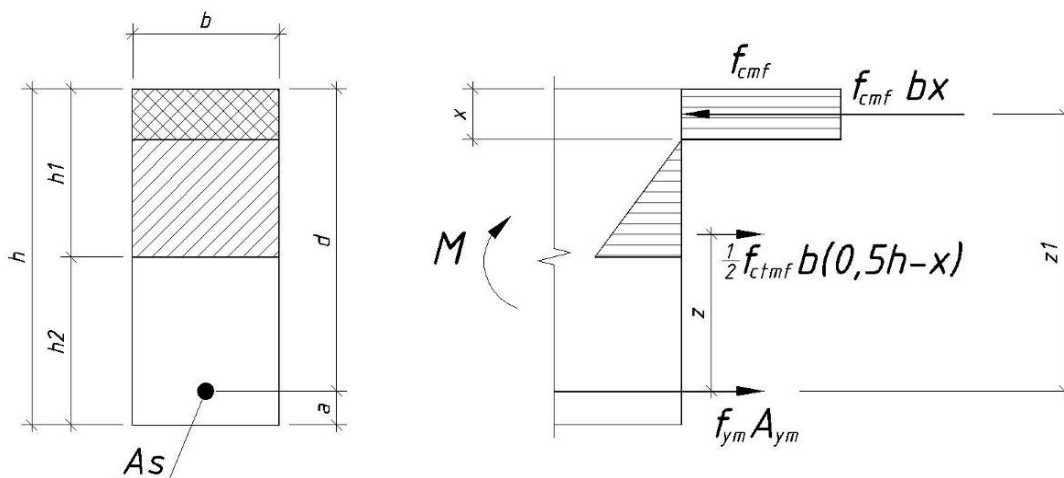


Рис. 3. Схема зусиль у перерізі плити.

Через навантаження і жорсткість B , прогин f приймає вигляд (2):

$$f = \frac{1}{248} \times \frac{ql^4}{B} \approx 0,004 \frac{ql^4}{B} \quad (2)$$

Жорсткість залізобетонного перерізу при згині визначають по розтягнутій зоні одношарової плити (3):

$$B = \frac{E_s}{\psi_s} z \times A_s (d - x), \quad (3)$$

де A_s - площа робочої арматури;

E_c - початковий модуль пружності;

d - корисна висота перерізу згинального елемента;

ψ_s - коефіцієнт, який враховує роботу розтягнутого бетону з тріщинами;

δ - висота стиснутої зони бетону у нормальному перерізі з тріщиною, визначається за формулою (4);

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_{su}} h, \quad (4)$$

де ε_c - відносні деформації стиснутого бетону;

h - загальна висота перерізу сталевібробетона (робоча висота залізобетонного перерізу);

$\varepsilon_{su}(\varepsilon_{f_{tu}})$ - граничні відносні деформації розтягнутої арматури (розтягнутого сталевібробетону);

z - відстань від центру ваги розтягнутої арматури до точки, у якій прикладена рівнодіюча зусилля у бетоні стиснутої зони (5);

$$z = d - \frac{x}{3} \quad (5)$$

Для сталевібробетонної плити формула (3) прийме вигляд:

$$B_f = \frac{E_s}{\psi_s} z \times b \times x(h - x) \quad (6)$$

Виконуючи розрахунки двошарових плит, змінюють модуль пружності одного матеріалу на приведений E_{red} , враховуючи висоту розтягнутої зони кожного матеріалів. Аналогічно обчислюємо площу розтягнутої зони A_{red} , моменту опору W_{red} тощо.

Згідно з ДСТУ Б В.1.2-3 нормують відносні прогини плит. Граничні прогини обмежують виходячи х конструктивних, фізіологічних і технологічних вимог. Для елементів конструкцій будівель і споруд вертикальні прогини від постійних, короточасних і тривалих навантажень не повинні перевищувати 1/150 прольоту.

Запропонованими способами проведені розрахунки прогинів плит опертих по контуру для одношаровий і двошарових плит та їх співставлення з отриманими результатами проведеного експерименту. Потрібно лише пам'ятати про необхідність уведення приведених розрахункових параметрів з урахуванням властивостей матеріалів: бетону, сталевібробетону, арматури.

Результати розрахунків приведені у таблиці 3, де співставленні способи аналітичного розрахунку з даними експерименту.

Таблиця 3.

Співставлення розрахункових і експериментальних прогинів плит

№ серії	Марка	Розрахункові зусилля, кН P_u	Розрахунок прогинів, f , мм			Прогини отримані з експерименту, що відповідають 0,75 P_u f , мм
			за формулою (1)	за формулою (2)	згідно ДСТУ Б В.1.2-3 1/150L	
I	ПБ-1	46,6	0,22	4,28	4,66	4,98
II	ПФ-1	51,2	0,21	4,21		5,92
	ПФ-2	49,7	0,20	4,23		4,91
III	ПЗ-1	62,4	0,26	4,96		4,15
	ПЗ-2	84,8	0,21	4,75		4,06
IV	ПФЗ-1	64,5	0,31	4,58		3,83
	ПФЗ-2	65,1	0,32	4,62		3,79
V	ПФЗК-1	65,3	0,30	4,61		3,87

Висновки. Отримані дані дають змогу проаналізувати вплив на деформативність дослідних зразків конструктивних особливостей, наявності шарів різного матеріалу, різних властивостей важкого бетону, сталевібробетону і арматури.

Як засвідчують проведені дані (див. табл. 3), запропоновані розрахунки аналітичними способами, згідно діючих нормативних документів та дані експерименту не мають бажаної точності та потребують удосконалення методів розрахунку. Максимальна похибка коливається в межах 13-20%.

Література

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Настанова з проектування та виготовлення сталевібробетонних конструкцій. – К.: Мінбуд України – 2009. – 63 с.
2. ДСТУ В.2.6-98-2011. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – Київ, 2011.
3. Ключев С. В. Экспериментальные исследования фибробетонных конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 4. С. 71–74.

References

1. DSTU-N B V.2.6-78:2009. Nastanova z proektuvannja ta vygotovlennja stalefibrobetonyh konstrukcij. Kyi'v. Minbud Ukrai'ny, 63.
2. DSTU V.2.6-98-2011. Concrete and reinforced concrete construction with heavy concrete. Design rule. / Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine. - Kyiv, 2011.
3. Klyuyev S.V. Studies fibrobetonyh // Cladding structures Mechanics constructions and structures. 2011. № 4. P. 71-74.

Скорук О.Н., Черный И.В., Татарченко Г.О.

ПРОГИБЫ ТОНКИХ СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ ПЛИТ ОПЕРТЫХ ПО КОНТУРУ

Проводились экспериментальные и теоретические исследования напряженно-деформированного состояния одно- и двухслойных бетонных, железобетонных и сталефиброжелезобетонных плит под действием поперечного малоциклового нагрузки.

При изучении деформаций опирались по контуру плит под действием равномерной нагрузки приведена обработка собственных экспериментальных исследований и сравнения исследовательских прогибов указанных плит с теоретическими расчетами по разным методикам и действующими нормативными документами.

Ключевые слова: сталефибробетон, жесткость, прочность, плита, фибра.

Skoruk O., Chernyi I., Tatarchenko G.

STALEBRINK DEFLECTIONS OF THIN SLABS ARE SIMPLY SUPPORTED ALONG THE CONTOUR

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.

By the general picture of bandings of slabs at the repeated loadings, up to their destruction there is the by turn passing of three stages of work of construction. It is the stage the elastic work to appearance of the first crack, stage of exploitation, that work with cracks and stage of destruction.

At studied deformations of supported on four sides slabs under the action in loading the calculation of own experimental researches and comparison of the experimental bindings of the noted slabs with theoretical calculations after different methods and operating normative documents.

Key words: fiber, steel fiber concrete, composite material, deflection, slab.

Відомості про авторів:

Скорук О.М. – асистент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури

Черний І.В. – студент магістратури кафедри міського будівництва та господарства Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Татарченко Г.О. – докт. техн. наук, професор кафедри міського будівництва та господарства Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.