

УДК 693.542.4

С.Ф. Неутов, М.М. Сидорчук, М.Г. Сур'янінов
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗУЧОСТІ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ

Наведені результати двоетапних експериментальних досліджень міцностних і деформаційних характеристик фібробетону, армованого сталеву фібрую. На першому етапі обраний оптимальний відсоток фібрового армування і максимальний розмір фракції великого заповнювача. Визначена кубикова та призмоча міцність зразків із сталевіфробетону і звичайного бетону. На другому етапі досліджена повзучість фібробетону і звичайного бетону аналогічного складу при різних рівнях напружень. Побудовані криві повзучості. Показано, що застосування фібрового армування приводить до зниження деформації повзучості на 21 – 30 відсотків залежно від рівня напружень.

Ключові слова: експериментальні дослідження, фібробетон, призмоча міцність, дисперсне армування, повзучість, крива повзучості.

С.Ф. Неутов, М.М. Сидорчук, Н.Г. Сурьянинов
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

Приведены результаты двухэтапных экспериментальных исследований прочностных и деформационных характеристик фибробетона, армированного стальной фиброй. На первом этапе выбран оптимальный процент фибрового армирования и максимальный размер фракции крупного заполнителя. Определена кубиковая и призмочная прочность образцов из сталевіфробетона и обычного бетона. На втором этапе исследована ползучесть фибробетона и обычного бетона аналігичного состава при разных уровнях напряжений. Построены кривые ползучести. Показано, что применение фибрового армирования приводит к снижению деформации ползучести на 21 – 30 процентов в зависимости от уровня напряжений.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, фибробетон, призмочная прочность, дисперсное армирование, ползучесть, кривая ползучести.

S.F. Neutov, M.M. Sidorchuk, N.G. Suryaninov
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
INVESTIGATION OF CREEP OF STEEL FIBER CONCRETE

The results of two-stage experimental studies of the strength and deformation characteristics of fiber-reinforced concrete reinforced with steel fiber are presented. At the first stage, the optimal percentage of fiber reinforcement and the maximum size of the coarse aggregate fraction were selected. The cube and prismatic strength of samples made of steel-fiber concrete and ordinary concrete is determined. At the second stage, the creep of fiber-reinforced concrete and ordinary concrete of similar composition at different stress levels was investigated. Creep curves are constructed. It is shown that the use of fiber reinforcement leads to a decrease in creep strain by 21 to 30 percent, depending on the stress level.

Key words: experimental research, fiber-reinforced concrete, prismatic strength, disperse reinforcement, creep, creep curve.

Постановка проблеми. В последние годы в строительной практике все большее применение находят фибробетоны, изготовленные на основе разных видов фибры, в зависимости от предполагаемой области применения фибробетона. Каждый вид фибры имеет свои преимущества и недостатки. Введение в бетон стальной фибры обеспечивает значительное повышение его механических и прочностных характеристик — увеличивается прочность при сжатии и прочность на растяжение при изгибе, сопротивление температурному воздействию и истиранию, повышается морозостойкость и трещиностойкость и др.

Исследования показывают, что применение стальной фибры весьма эффективно в несущих конструкциях [1 – 3]. Тем не менее, объем таких исследований явно недостаточен, что сдерживает практическое использование сталевіфробетонных конструкций. В частности, в литературе практически не отражен такой важнейший вопрос, как ползучесть сталевіфробетона.

Целью нашего исследования является изучение ползучести сталевіфробетона на стандартных образцах — призмах 100x100x400 мм [4].

Результаты исследований. Испытания проводились в два этапа. На первом этапе определялась кубиковая прочность сталевіфробетона на образцах 100x100x100 мм [4]. При этом варьировался процент дисперсного армирования, который составлял 0,5 %, 1,0 % и 1,5 %, а также размер фракции крупного заполнителя (щебень) — с размером фракции ≤ 10 мм в одной серии испытаний и ≤ 20 мм — во второй. Одновременно определялась кубиковая прочность обычного бетона при тех же размерах крупного заполнителя.

Обработка результатов первого этапа испытаний показала, что оптимальными характеристиками сталефибробетонной смеси является матрица с крупным заполнителем ≤ 10 мм при 1,0% фибрового армирования. Этот состав и был принят для проведения второго этапа испытаний — исследования ползучести на образцах-призмах 100x100x400 мм.

Во всех проведенных опытах использовался цемент марки 400 и промытый речной песок. Водоцементное отношение — 0,449.

Для дисперсного армирования использовалась фибра с загнутыми концами, изготовленная из высокопрочной проволоки с временным сопротивлением 1335 МПа. Основные характеристики фибры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики фибры

Тип	Описание	Длина, мм	Диаметр, мм	$\sigma_{вр}$, МПа	E , Мпа	μ
HE50	Фибра рубленая из проволоки	50	1,0	1335	200000	0,3

Используемая фибра выпускается производственным объединением "Стальканат-Силур" (Украина) в соответствии с Европейским стандартом EN14889-1: 2006 (рис. 1) [5].



Рис. 1. – Стальная фибра с загнутыми концами

Следует отметить, что перед разрушением кубиковых образцов из сталефибробетона наблюдалось трещинообразование по оси действия сжимающей нагрузки. Разрушение образцов из сталефибробетона с 0,5 % дисперсного армирования и обычного бетона носило хрупкий характер, в то время как при армировании 1,0 % и 1,5 % хрупкое разрушение не отмечено.

Для испытаний призм на ползучесть сначала определялись уровни длительного нагружения, которые составили 0,3; 0,4; 0,5; 0,67 и 0,8 от призмной прочности. Для ее определения образцы-призмы были доведены до разрушения. Разрушающая нагрузка составила 235 кН для обычного бетона и 252 кН для сталефибробетона. Соответственно, была определена призмная прочность:

для обычного бетона

$$R_b = \frac{F_b}{A} = \frac{235}{0,01} = 23500 \text{ кПа} = 23,5 \text{ МПа},$$

для сталефибробетона

$$R_{сфб} = \frac{F_{сфб}}{A} = \frac{252}{0,01} = 25200 \text{ кПа} = 25,2 \text{ МПа}.$$

По достижении того или иного уровня нагружения нагрузка фиксировалась и поддерживалась неизменной на протяжении 360 суток.

Опыты проводились на специальных стендах, предназначенных для испытаний на ползучесть (рис. 2).



Рис. 2. – Стенды для испытаний на ползучесть

На каждом стенде в одном ряду располагались две призмы: одна — из сталефибробетона, вторая — из обычного бетона, что обеспечивало одинаковую нагрузку на образцы на протяжении всего эксперимента.

При подготовке образцов на их боковых поверхностях разместили базу измерения продольных деформаций, установили крепежные приспособления и измерительные приборы — индикаторы часового типа (рис. 3).



Рис. 3. – Подготовка образцов

В табл. 2 приведены фрагменты показаний измерительных приборов для обычного бетона и сталефибробетона при уровне напряжений $0,5R$. Подобные таблицы составлены для всех

указанных выше уровней нагрузки, однако привести их здесь в полном объеме не представляется возможным ввиду ограниченного объема статьи.

Таблица 2

Показания измерительных приборов при уровне напряжений 0,5R

Дата	зразок 1 (звичайний)				зразок 2 (сталевібробетон)			
	прав. індик.	лівий індик.	сер. знач.	ε	прав. індик.	лівий індик.	сер. знач.	ε
13.11.16	5,5	10	7,75	0,0003875	7,8	4,8	6,3	0,000315
.....								
14.12.16	7,8	12,9	10,35	0,0005175	9,8	7,5	8,65	0,000433
15.12.16	8,6	14	11,3	0,000565	10,5	8,4	9,45	0,000473
16.12.16	9,9	14,6	12,25	0,0006125	10,8	8,9	9,85	0,000493
.....								
12.01.17	17,4	22	19,7	0,000985	16,4	17	16,7	0,000835
13.01.17	17,8	22,1	19,95	0,0009975	16,8	17,3	17,05	0,000853
16.01.17	18	22,4	20,2	0,00101	17	17,9	17,45	0,000873
.....								
01.02.17	20,1	24,9	22,5	0,001125	18	19,9	18,95	0,000948
02.02.17	20,5	24,9	22,7	0,001135	17,9	20,5	19,2	0,00096
.....								
06.03.17	24	27,6	25,8	0,00129	20,7	24	22,35	0,001118
07.03.17	24	27,9	25,95	0,0012975	21	24,1	22,55	0,001128
.....								
24.04.17	27,2	30,7	28,95	0,0014475	23,8	28,1	25,95	0,001298
25.04.17	27,3	30,7	29	0,00145	23,8	28,1	25,95	0,001298
.....								
10.05.17	28	31	29,5	0,001475	24	28,9	26,45	0,001323
11.05.17	28,1	31,1	29,6	0,00148	24,2	29,1	26,65	0,001333
.....								
28.08.17	33	35,1	34,05	0,0017025	29	34,2	31,6	0,00158
29.08.17	33	35,1	34,05	0,0017025	29	34,2	31,6	0,00158
.....								
26.09.17	33,1	35,3	34,2	0,00171	29,1	34,5	31,8	0,00159
27.09.17	33,1	35,4	34,25	0,0017125	29,1	34,6	31,85	0,001593
24.10.17	33,1	35,5	34,3	0,001715	29	34,1	31,55	0,001578
.....								
25.10.17	33,1	35,5	34,3	0,001715	29	34,1	31,55	0,001578
.....								
07.11.17	33,1	35,5	34,3	0,001715	29,1	34,5	31,8	0,00159

Кривые ползучести, построенные путем математической обработки результатов испытаний, показаны на рис. 4-6. При этом первое значение ε , указанное в таблице, при построении кривых ползучести принято в качестве условного нуля [6 – 8].

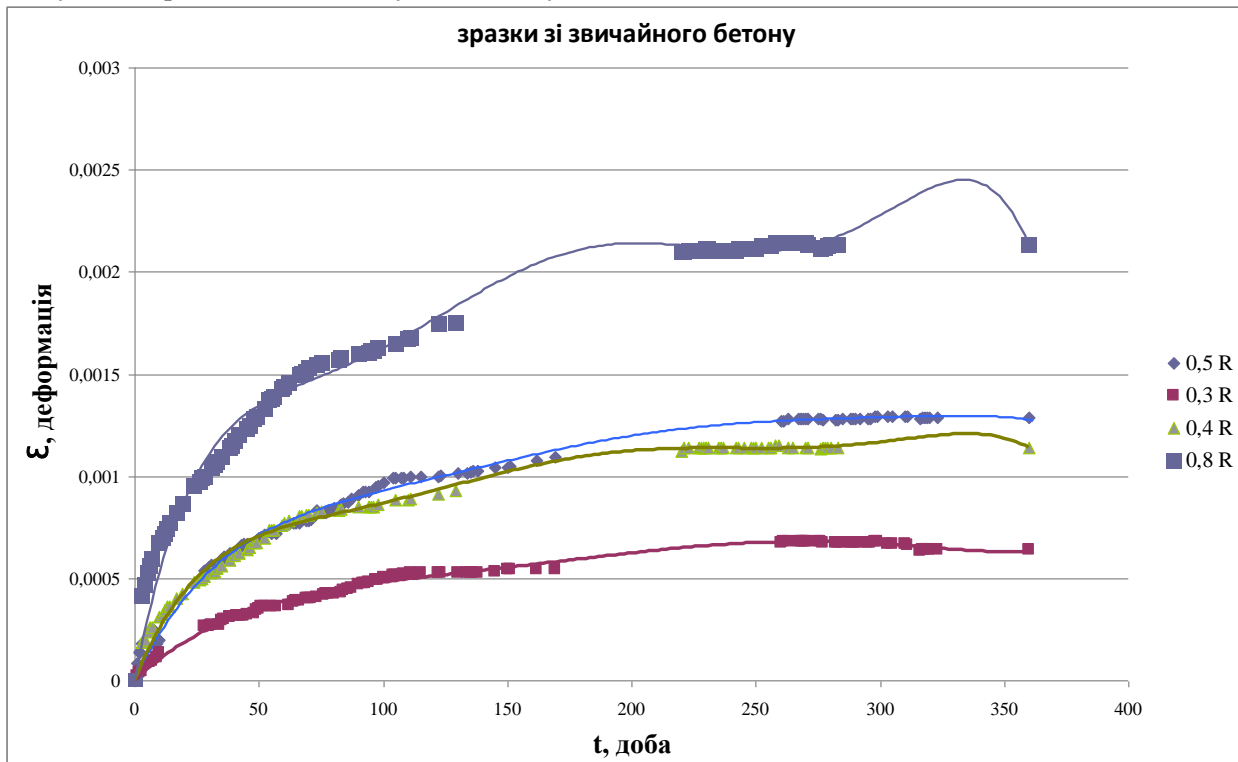


Рис. 4. – Кривые ползучести для обычного бетона

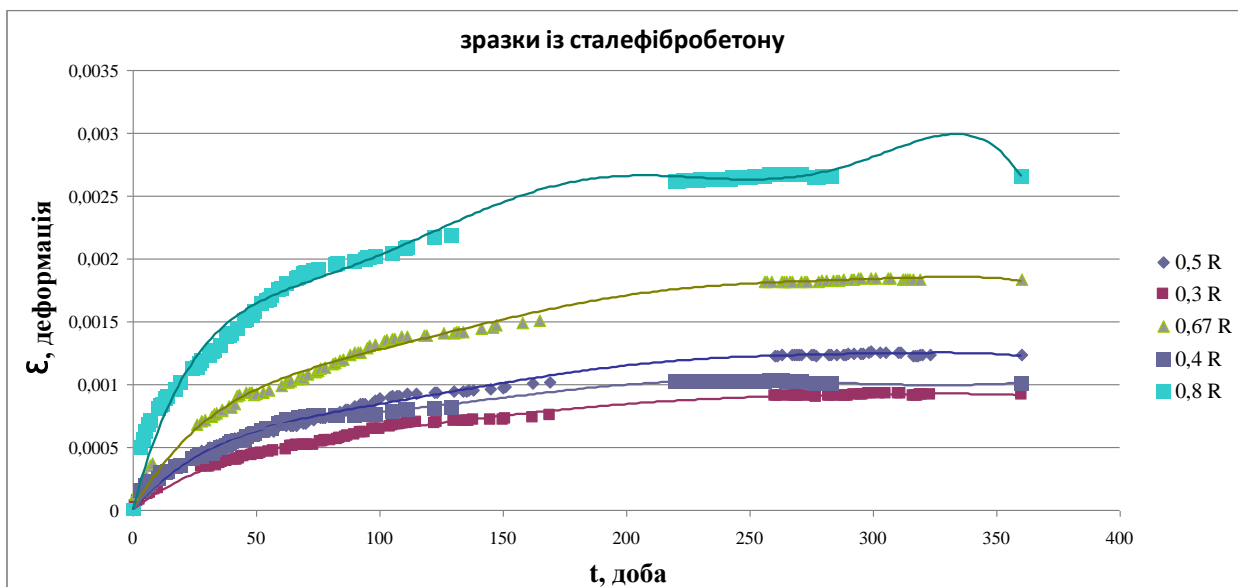


Рис. 5. – Кривые ползучести для сталефибробетона

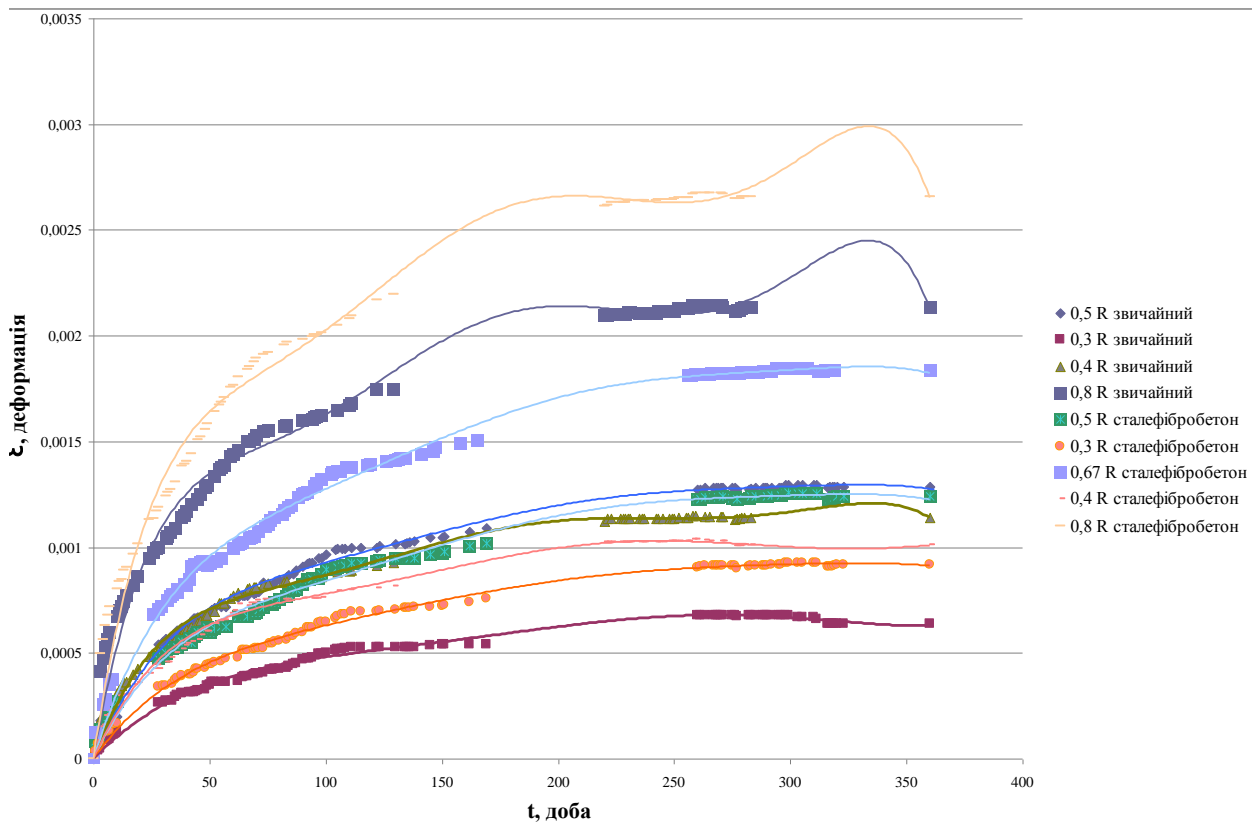


Рис. 6. – Сводные кривые ползучести

Выводы. Выполненные экспериментальные исследования прочности образцов сталефибробетона в форме кубиков и призм показали, что разрушение образцов с 0,5% дисперсного армирования носит хрупкий характер, который не наблюдается при 1,0% и 1,5% дисперсного армирования.

Определены оптимальные характеристиками сталефибробетонной смеси — матрица с крупным заполнителем фракции ≤ 10 мм при 1,0 % фибрового армирования.

Сравнение результатов испытаний образцов из обычного бетона и армированных стальной фиброй показало, что дисперсное армирование приводит к увеличению прочности бетона на сжатие в 1,35 раза и прочности на растяжение при изгибе — в 3,4 раза. При этом деформации ползучести снижаются на 21 - 30 процентов, в зависимости от уровня напряжений.

1. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография / Ф. Н. Рабинович. — М.: Изд-во АСВ, 2004. — 560 с.

2. Талантова К.В. Сталефибробетон с заданными свойствами и строительные конструкции на его основе: дисс. ... д-ра. техн. наук / К.В. Талантова. — Барнаул, 2013. — 287 с.

3. Смирнов Д.А. Упругость и ползучесть сталефибробетона: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Д. А. Смирнов. — СПб., 2011. — 20 с.

4. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. — К.: Мінрегіонбуд України, 2011. — 73 с.

5. BS EN 14889-1:2006 Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions, specifications and conformity.

6. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. — М.: Высшая школа, 1968. — 512 с.

7. Пикуль В.В. Прикладная механика деформируемого твердого тела / В.В. Пикуль. — М.: Наука, 1989. — 220 с.

8. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. — М.: Наука, 1988. — 712 с.

Стаття надійшла до редакції 06.11.2017