

УДК 666.97.620.1

Р. О. Красновский, Д. Е. Капустин, К. В. Рогачев

ЗАВИСИМОСТЬ УСАДКИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА С ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ МАТРИЦЕЙ ОТ ТИПА ФИБРЫ И ПРОЦЕНТА АРМИРОВАНИЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию на усадку фибробетона с цементно-песчаной матрицей вида фибры и процента армирования (до 6 %).

К л ю ч е в ы е с л о в а: фибра, сталефибробетон, цементно-песчаная матрица, процент армирования, деформации усадки.

The article provides the results of experimental investigations demonstrating the effects of fiber type and reinforcement ratio (up to 6 %) on shrinkage of fiber concrete with cement-sand matrix.

K e y w o r d s: fiber, steel-fiber reinforced concrete, cement-sand matrix, reinforcement ratio, shrinkage strain.

Сборно-монолитный метод строительства с использованием армоблоков с несъемной сталефибробетонной опалубкой [1] следует считать одним из наиболее перспективных направлений при возведении зданий и сооружений. Он позволяет объединить достоинства конструктивных и технологических решений, присущие сборному и монолитному методам строительства, и одновременно исключить свойственные им недостатки. Это дает возможность при сроках строительства, соответствующих сборному домостроению, обеспечить качество узлов конструкций и в целом жесткость сооружения, соответствующую монолитной технологии, исключить ограничения, накладываемые на архитектурные решения парком имеющихся дорогостоящих форм на заводах сборного железобетона.

Высокие прочностные [2] и эксплуатационные характеристики (класс по водонепроницаемости и морозостойкости не ниже W20 и F1000 соответственно) листов сталефибробетонной опалубки толщиной 20...25 мм позволяют отказаться от защитного слоя бетона. Кроме того, они дают возможность уменьшить расход конструктивной арматуры, так как сталефибробетонная опалубка выполняет ее функции, и обеспечить мониторинг укладки бетона и кинетики его твердения ультразвуковым методом.

В то же время широкое применение комбинированных железобетонных конструкций, включающих несъемную сталефибробетонную опалубку, требует решения ряда вопросов, связанных с определенным отличием физико-механических свойств бетона и сталефибробетона и сказывающихся на их совместной работе. К одному из таких вопросов относится и усадка сталефибробетона. СП 52-102—2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции» в зависимости от класса бетона принимают ее равной $0,0003 (30 \cdot 10^{-5})$ для бетона классов В45 и выше. Однако высокопрочная цементно-песчаная матрица сталефибробетонов несъемной опалубки имеет классы по сжатию более В60, что не предусмотрено ни СП 52-101—2004, ни СП 52-102—2004. По данным С. С. Каприелова и др. [3], ее усадка составляет $(74...77) \cdot 10^{-5}$, но введение волокон стальной фибры должно изменить значение усадки. Кроме того, следует учитывать, что для изготовления сталефибробетона применяют волокна фибры, отличающиеся друг от друга по длине, диаметру и способу их анкерования в матрице, что также может сказаться на усадке.

Цель настоящей работы — оценить влияние на усадку сталефибробетона с цементно-песчаной матрицей вида фибры и процента армирования. Для получения сопоставимых результатов с ранее выполненными исследованиями были рассмотрены следующие виды фибры (табл. 1):

Т а б л и ц а 1

Типы и параметры фибры

Тип фибры	Сопротивление растяжению $R_{f,н}$, МПа	Модуль упругости E , МПа
Нарех $32 \times 1,2$	600	200 000
ФСЛ $40 \times 0,8$	580	210 000
ФСПА $30 \times 0,3$	2650	190 000
ФСПВ $30 \times 0,8$	860	190 000
ФСП-Люкс $15 \times 0,3$	2450	190 000

Были исследованы сталефибробетоны с процентом армирования по объему μ_v , 0,5...6 %. Цементно-песчаная матрица имела следующий состав: цемент 800 кг/м^3 , песок 1250 кг/м^3 , вода 260 л/м^3 , микрокремнезем 40 кг/м^3 , гиперпластификатор Sika 8 кг/м^3 (он обеспечивал получение самоуплотняющейся смеси и класс прочности на сжатие В 80).

В связи с тем что исследования проводились применительно к несъемной сталефибробетонной опалубке толщиной 20...25 мм, деформации усадки измеряли на образцах-призмах размером $25 \times 25 \times 250 \text{ мм}$ по аналогии с ГОСТ 24544—81*. Испытания проводились в лабораторных условиях при температуре воздуха $(14 \pm 1,5)^\circ\text{C}$ и влажности $(80 \pm 10)\%$.

Деформации усадки цементно-песчаной матрицы во времени росли по экспоненте (рис. 1), стабилизировались в возрасте 180 сут, достигая $83,9 \cdot 10^{-5}$, что на 18 % больше расчетных [4], полученных по формуле

$$\varepsilon_s^n(\infty, 7) = k_s (W + V)^{3/2} = 71 \cdot 10^{-5},$$

где $k_s = 0,16$ для мелкозернистых бетонов; $W = 10 \text{ л/м}^3$ — объем вовлеченного воздуха для бетонов с суперпластификаторами; $V = 260 \text{ л/м}^3$ — объем воды затворения.

Превышение фактической усадки цементно-песчаной матрицы по сравнению с расчетным значением можно объяснить относительно небольшим по объему содержанием в ней песка (Ц : П = 1 : 2).

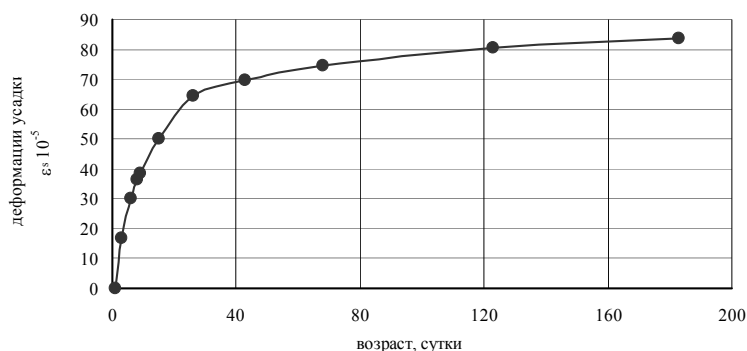


Рис. 1. Усадка цементно-песчаной матрицы

На рис. 2 приведены графики зависимости деформаций усадки от процента армирования по объему μ_v сталефибробетонов с различными видами фибр, которые, как и в случае цементно-песчаной матрицы, имеют экспоненциальный характер. На графиках видно, что в зависимости от вида фибры и процента армирования деформации усадки сталефибробетонов могут быть как равны, так и больше или меньше деформаций цементно-песчаной матрицы. Так, жесткие стальные волокна большого диаметра (0,8...1,2 мм) и относительно большой длины (30...32 мм) фибр Нарех 32 $\times$ 1,2 и ФСП-В 30 $\times$ 0,8 при перемешивании и укладке разуплотняют матрицу, создавая в ней заполненные паровоздушной смесью поры, испарение которой приводит к увеличению усадки. Только при больших процентах армирования такие волокна препятствуют усадке. В наибольшей степени препятствуют усадке тонкие (0,3 мм) и короткие (15 мм) волокна фибры ФСП-Люкс 15 $\times$ 0,3. В случаях, когда волокна фибры не влияют на усадку, можно говорить о том, что их деструктивное влияние уравнивается.

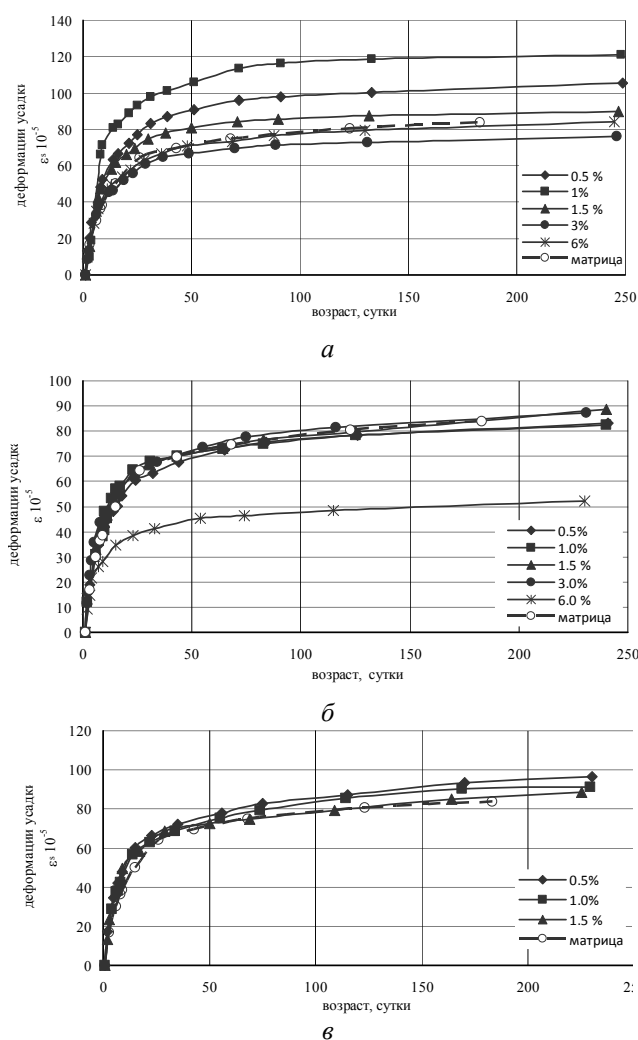


Рис. 2 (начало). Зависимости деформаций усадки от процента армирования по объему сталефибробетонов с фиброй: *a* — Нарех 32 $\times$ 1,2; *б* — ФСП-В 30 $\times$ 0,8; *в* — ФСП-А-30 $\times$ 0,3; *г* — ФСП-В 30 $\times$ 0,8; *д* — ФСП-Люкс 15 $\times$ 0,3

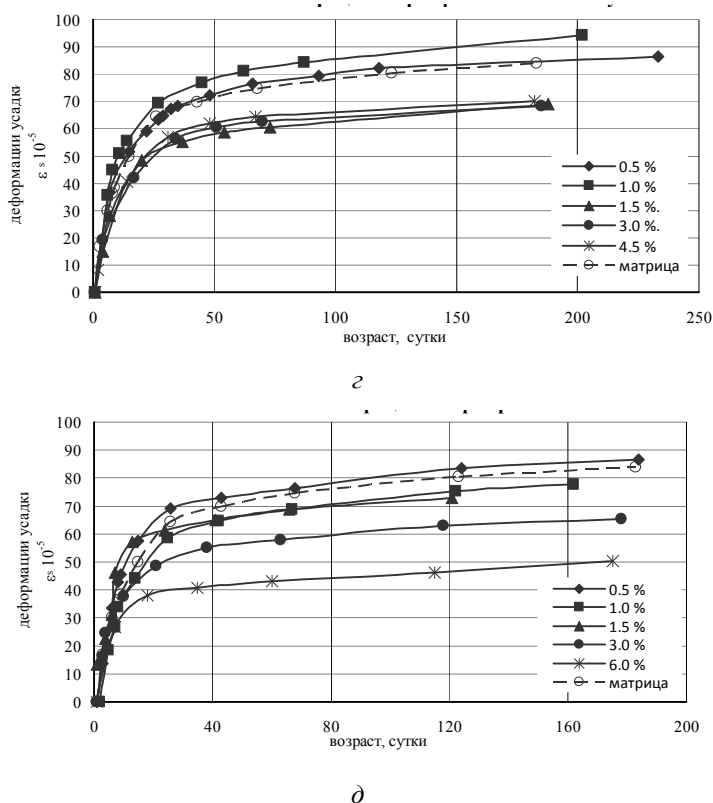


Рис. 2 (окончание). Зависимости деформаций усадки от процента армирования по объему сталефибробетонов с фиброй: *а* — Нarex 32 × 1,2; *б* — ФСЛ 40 × 0,8; *в* — ФСП-А-30 × 0,3; *г* — ФСП-В 30 × 0,8; *д* — ФСП-Люкс 15 × 0,3

Нормативные значения деформаций усадки были определены в возрасте 180...200 сут и приведены на рис. 2, а их зависимость от вида фибры и процента армирования — на рис. 3. Из них видно, что, как и в случае осевого сжатия и растяжения [2], при армировании менее 1,5 % имеет место неоднозначное изменение деформаций усадки при росте процента армирования. Повидимому, это связано с нарушением структуры матрицы волокнами фибры при перемешивании и укладке сталефибробетонной смеси.

Т а б л и ц а 1

Нормативные значения деформаций усадки $\epsilon_s \cdot 10^{-5}$

Процент армирования	Вид фибры				
	Нarex 32 × 1,2	ФСЛ 40 × 0,8	ФСП-А-30 × 0,3	ФСП-В 30 × 0,8	ФСП-Люкс 15 × 0,3
0	83,9	83,9	83,9	83,9	83,9
0,5	105,3	83,2	96,7	86,4	86,6
1,0	121,1	82,3	91,3	94,4	77,6
1,5	89,8	88,7	88,4	69,1	73,0
3,0	76,0	87,2	—	68,4	65,4
6,0	84,3	52,4	—	—	50,4

Практически линейное уменьшение нормативных значений деформаций усадки с ростом процента армирования имеет место только у сталефибробетона с фиброй ФСП-Люкс $15 \times 0,3$ (рис. 3), которое можно записать в следующем виде:

$$\varepsilon_{fs.n} = \varepsilon_{bs.n} - 5,9\mu_{fv},$$

где $\varepsilon_{fs.n}$ — нормативное значение усадки фибробетона; $\varepsilon_{bs.n}$ — нормативное значение усадки матрицы; μ_{fv} — процент армирования сталефибробетона по объему.

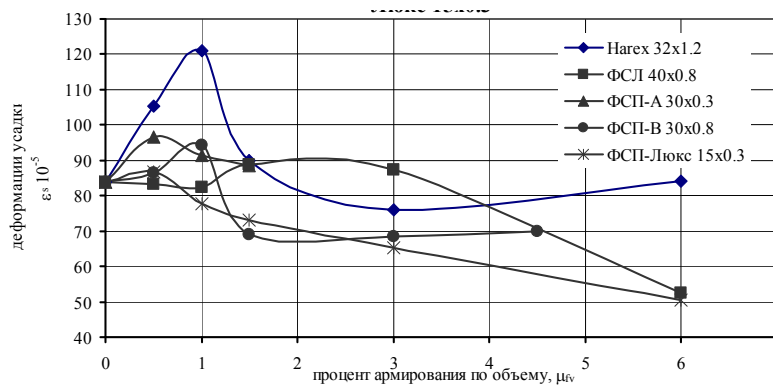


Рис. 3. Зависимость нормативных значений деформаций усадки от вида фибры и процента армирования по объему

Нормативные значения усадки сталефибробетонов с относительно длинными волокнами больших диаметров фибры Narex $32 \times 1,2$ и ФСП-В $30 \times 0,8$ при проценте армирования по объему более 1,5 % практически от него не зависят.

Выводы:

1. Рост во времени деформаций усадки цементно-песчаной матрицы и сталефибробетонов на ее основе носит экспоненциальный характер. При этом деформации усадки сталефибробетонов в зависимости от вида фибры и процента армирования могут быть как равны деформациям усадки матрицы, так и быть больше или меньше их.

2. Нормативные значения деформаций усадки цементно-песчаной матрицы достаточно хорошо описывается зависимостью, приведенной в [4], в которую, однако, следует внести поправку, учитывающую содержание в матрице песка по объему.

3. Нормативные значения деформаций усадки сталефибробетонов зависят от процента армирования по объему и вида фибры, в том числе от диаметра и длины волокон. С ростом процента армирования до 1,5 % деформации усадки изменяются неоднозначно, а характер этого изменения зависит от вида фибры. При увеличении процента армирования от 1,5 до 6 % нормативные значения деформаций усадки при больших диаметрах (0,8...1,2 мм) и большой длине (3,2...40 мм) волокон практически не изменяются, а при малом диаметре (0,3 мм) и длине (15 мм) — уменьшаются по линейному закону.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов // Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М. : АСБ, 2011. 642 с.

2. Ремнев В. В., Красновский Р. О., Шкутов Н. С. Влияние характеристик стальной фибры на технологические и физико-механические свойства фибробетонов // Вестник отделения строительных наук РААСН. Вып. 16. Т. 2. 2012. С. 103.

3. О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С / С. С. Каприелов, Н. И. Карпенко, А. В. Шейнфельд, Е. Н. Кузнецов. URL: <http://www.master-concrete.com/i/content/reference/66.doc> (дата обращения : 18.12.2012).

4. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. М. : Стройиздат, 1988. 121 с.

1. Rabinovich F. N. Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov // Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruktсии. M. : ASB, 2011. 642 s.

2. Remnev V. V., Krasnovskiy R. O., Shkutov N. S. Vliyaniye kharakteristik stal'noy fibry na tekhnologicheskie i fiziko-mekhanicheskie svoystva fibrobetonov // Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN. Vyp. 16. T. 2. 2012. S. 103.

3. O regulirovaniy modulya uprugosti i polzuchesti vysokoprochnykh betonov s modifikatorom MB-50S / S. S. Kaprielov, N. I. Karpenko, A. V. Sheynfel'd, E. N. Kuznetsov. URL: <http://www.master-concrete.com/i/content/reference/66.doc> (data obrashcheniya : 18.12.2012).

4. Rekomendatsii po uchetu polzuchesti i usadki betona pri raschete betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy. M. : Stroyizdat, 1988. 121 s.

© Красновский Р. О., Капустин Д. Е., Рогачев К. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Красновский Р. О., Капустин Д. Е., Рогачев К. В. Зависимость усадки сталефибробетона с цементно-песчаной матрицей от типа фибры и процента армирования // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 4(29). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KrasnovskiyKapustinRogachev-2013_4\(29\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/KrasnovskiyKapustinRogachev-2013_4(29).pdf)