

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ УСАДКИ  
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА  
И СТАЛЕФИБРОБЕТОНА  
ПРИ РАЦИОНАЛЬНОМ СОДЕРЖАНИИ ФИБРЫ**

**STUDY OF STRINKAGE DEFORMATIONS  
OF OF FINE-GRAINED HIGH-STRENGTH CONCRETE  
AND STEEL FIBER CONCRETE WITH A RATIONAL FIBER CONTENT**

*Н.И. КАРПЕНКО, С.С. КАПРИЕЛОВ, И.М. БЕЗГОДОВ, Г.А. МОЙСЕЕНКО, М.В. СТЕПАНОВ  
N.I. KARPENKO, S.S. KAPRIELOV, I.M. BEZGODOV, G.A. MOISEENKO, M.V. STEPANOV*

(Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук,  
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)  
(Research Institute of Building Physics  
of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,  
Moscow State (National Research) University of Civil Engineering)  
E-mail: niisf@miisf.ru

*Исследованы деформации усадки высокопрочного сталефибробетона (ВСФБ) и матрицы мелкозернистого высокопрочного бетона (МВБ) в разном возрасте (7, 28 и 100 суток) при рациональном содержании фибры 120 кг/м<sup>3</sup> в сталефибробетоне. На основании данных экспериментальных исследований деформаций усадки дано их теоретическое описание.*

*Strinkage deformations of high-strength steel fiber concrete with a rational fiber content 120 kg/m<sup>3</sup> and the matrix of fine-grained high-strength concrete have been investigated for different ages of loading (7, 28 and 100 days). On the basis of experimental data of researches of strinkage deformations its theoretical description is given.*

**Ключевые слова:** высокопрочный сталефибробетон, высокопрочный мелкозернистый бетон, фибра, возраст бетона, деформации усадки.

**Keywords:** high-strength steel fiber concrete, fine-grained high-strength concrete, fiber, age of the concrete, strinkage deformations.

Для оценки влияния стальной фибры на деформации ползучести и усадки было задействовано 2 серии образцов-призм размером 7,07×7,07×28 см. Теоретическое описание деформаций ползучести представлено в [1]. Остановимся на определении деформаций усадки. Характеристики образцов при-

ведены в табл. 1. Первая серия бетонирования – без стальной фибры, а во вторую вводится прямая латунированная высокопрочная фибра Ø 0,3 мм и длиной 13 мм в количестве 1,5% от объема. Использовали следующий состав фибробетонной смеси (ВСФБ):

- портландцемент марки ПЦ 500 ДОН	900 кг/м <sup>3</sup> ;
- песок с Мк =2,5	860 кг/м <sup>3</sup> ;
- фибра	120 кг/м <sup>3</sup> ;
- вода	190 кг/м <sup>3</sup> .

Составы МВБ отмечались только отсутствием фибры. Соотношения компонентов назначались в соответствии с исследованиями [2].

Составы бетонов можно отнести к самоуплотняющимся, поскольку имеем расплыв конуса более 60 см.

Таблица 1

Возраст, сут.	Вид бетона	$R_b$ , МПа	$E_b$ МПа · 10 <sup>-3</sup>	$\nu_b$
7	МВБ	80,3	30,8	0,281
	СВФБ	87,2	37,5	0,276
28	МВБ	102,7	38,2	0,295
	СВФБ	111,5	43,1	0,299
100	МВБ	104,7	37,4	0,291
	СВФБ	117,3	44,3	0,285
240	МВБ	108,90	39,0	0,289
	СВФБ	122,8	44,0	0,290

Согласно программе [1] исследовали ползучесть и усадку бетона на образцах-призмах в возрасте 7, 28 и 100 суток для серии образцов СВФБ и серии образцов МВБ. В статье рассматривается теоретическое описание деформаций усадки бетона двух указанных серий. Для оценки деформаций усадки были установлены для каждого возраста 2 образца без нагрузки, которые находились рядом с нагруженными образцами. В помещении поддерживалась постоянная температура и влажность, которые контролировались с помощью психрометра. Более подробно методики проведения экспериментальных исследований представлены в работе [1].

Была проведена теоретическая обработка деформаций усадки исследованных составов по методике, предложенной И.Е. Прокоповичем и М.М. Заставой [3] для описания деформаций усадки тяжелого бетона рядовой прочности. Задачей данного исследования является проверка применимости предло-

женных уравнений для описания деформаций усадки исследованных составов СВФБ и МВБ.

По данной методике деформации усадки к моменту времени  $t$  определяются по зависимости:

$$\varepsilon_{bs}(t, t_w) = \varepsilon_{bs}(\infty, t_w) \left[ 1 - e^{-\alpha(t-t_w)} \right], \quad (1)$$

где  $t_w$  – возраст бетона в момент окончания влажностного хранения, сут.;  $\alpha$  – безразмерный параметр, зависящий от модуля открытой поверхности образца;  $\varepsilon_{bs}(\infty, t_w)$  – предельное значение деформации усадки бетона.

Предельные деформации усадки были подсчитаны по методике [4].

Результаты подсчета предельных деформаций усадки приведены в табл. 2. Там же приведены данные по росту деформаций усадки за время от 120 суток до бесконечности.

Таблица 2

Рост деформаций усадки за время от 120 суток до бесконечности						
Величина \ Состав	МВБ 7 сут.	МВБ 28 сут.	МВБ 100 сут.	СВФБ 7 сут.	СВФБ 28 сут.	СВФБ 100 сут.
$\varepsilon_{bs}(120, t_w) \cdot 10^5$	27,52	17,18	6,32	19,52	8,95	2,31
$\varepsilon_{bs}(\infty, t_w) \cdot 10^5$	30,18	22,45	7,14	20,26	10,11	2,61
$\frac{\varepsilon_{bs}(\infty, t_w) - \varepsilon_{bs}(120, t_w)}{\varepsilon_{bs}(120, t_w)} \cdot 100\%$	9,7%	30,7%	13,0%	3,8%	13,0%	13,0%

При построении теоретических графиков деформаций усадки с использованием

зависимости (1) оказалось, что они сильно отличаются от экспериментальных кривых.

В связи с этим взамен зависимости (1) для описания деформаций усадки исследован-

ных составов предлагается зависимость в виде:

$$\varepsilon_{bs}(t, t_w) = \varepsilon_{bs}(\infty, t_w) \left[ 1 - e^{-\alpha(t-t_w)} \right] \left[ \frac{A}{e^{-\alpha(t-t_w)} + 1} \right]. \quad (2)$$

Коэффициенты для формулы (2) пред-

ставлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент	Возраст начала учета деформаций усадки, сут.					
	МВБ			ВСФБ		
	7	28	100	7	28	100
$\gamma$	0,058	0,058	0,07	0,058	0,07	0,07
$\alpha$	0,02	0,012	0,018	0,027	0,018	0,018
A	3	3	0,5	3	2	2

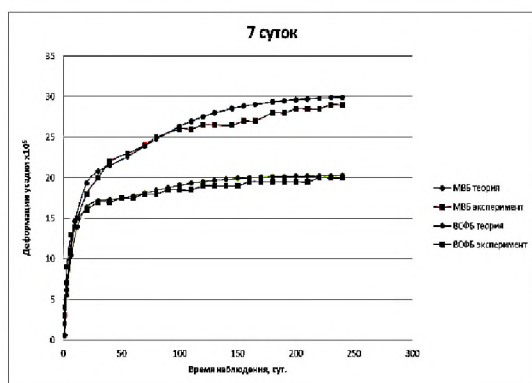


Рис. 1

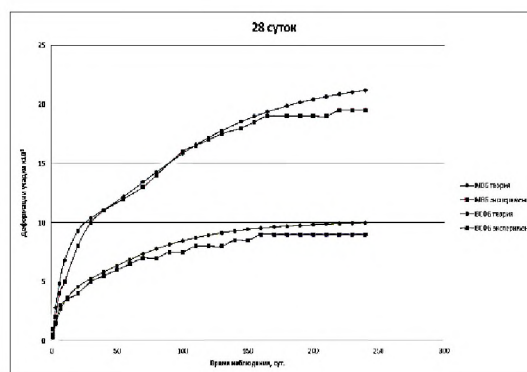


Рис. 2

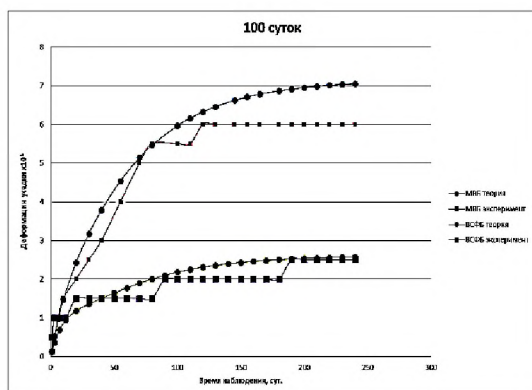


Рис. 3

На рис. 1...3 показано сопоставление экспериментальных и теоретических данных деформаций усадки. Рис. 1 – сравнение экспериментальных и теоретических значений деформаций усадки для МВБ и ВСФБ, загруженных в возрасте 7 суток; рис. 2 – сравнение экспериментальных и теоретических значений деформаций усадки для МВБ и ВСФБ, загруженных в возрасте 28 суток; рис. 3 – сравнение

экспериментальных и теоретических значений деформаций усадки для МВБ и ВСФБ, загруженных в возрасте 100 суток.

## ВЫВОДЫ

Деформации усадки мелкозернистого высокопрочного бетона в 2 и более раз превышают деформации усадки высокопрочного сталефибробетона. Для определения деформаций усадки ВСФБ и МВБ может быть использована зависимость И.Е. Прокоповича и М.М. Заставы (1), откорректированная и представленная в виде (2).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Петров А.Н., Безгоднов И.М., Моисеенко Г.А., Степанов М.В., Чулин И.А. Исследование физико-механических и реологических свойств высокопрочных сталефибробетонов из самоуплотняющихся смесей // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архи-

тектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году. – Том 2. – М., 2018. С. 237...246.

2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны. – М.: ООО "Типография Парадиз", 2010. С. 258.

3. Прокопович И.Е., Застава М.М. О расчетном определении предельных длительных деформаций тяжелого бетона // Бетон и железобетон. – 1972, №5. С. 35...37.

4. ГОСТ 24544–81 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести.

#### REFERENCES

1. Karpenko N.I., Kapriellov S.S., Petrov A.N., Bezgodov I.M., Moiseenko G.A., Stepanov M.V., Chilin I.A. Issledovanie fiziko-mehnicheskikh i reologicheskikh

svoystv vysokoprochnyh stalefibro-betonov iz samoplnotnyayushihnya smesej // Fundamentalnye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arhitektury, gradostroitelstva i stroitelnoj otrasli Rossijskoj Federacii v 2017 godu. – Tom 2. – M., 2018. S. 237...246.

2. Kapriellov S.S., Shejnfeld A.V., Kardumyan G.S. Novye modifitsirovannye betony. – M.: ООО "Tipografiya Paradiz", 2010. S. 258.

3. Prokopovich I.E., Zastava M.M. O raschetnom opredelenii predelnyh dlitelnyh deformatsij tyazhelogo betona // Beton i zhelezobeton. – 1972, №5. S. 35...37.

4. GOST 24544–81 Betony. Metody opredeleniya deformatsij usadki i polzuchesti.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 18.06.18.