

УДК 666.97

А.В. Мишина, И.М. Безгодов*, А.А. Андрианов

НИИСФ РААСН, * ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ СВЕРХВЫСОКОПРОЧНОГО СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

Приведены результаты эксперимента по определению предельных деформаций и мер ползучести сталефибробетона класса по прочности на сжатие В120 при нагружении в разном возрасте. Предложена формула, позволяющая прогнозировать предельные меры ползучести с высокой точностью.

Ключевые слова: высокопрочный сталефибробетон, мера ползучести, предельная деформация, прочность, уровень нагружения, ползучесть.

Применение дисперсноармированных материалов, в частности сталефибробетона, является одним из перспективных направлений развития строительного производства. Исследования этого материала проводятся во всем мире [1, 2]. Особый интерес представляет сталефибробетон на основе сверхвысокопрочного порошкового бетона-матрицы [3—5]. Известно, что добавление стальной фибры улучшает физико-механические характеристики бетона, такие как прочность на сжатие и особенно прочность на растяжение, повышает пластичность [6, 7]. Очень большое значение для понимания работы материала и применения его на практике имеет изучение реологических характеристик сталефибробетона.

В связи с этим в лаборатории МГСУ были проведены экспериментальные исследования ползучести сверхвысокопрочного бетона, армированного стальной фиброй. Данный материал был разработан в НИИЖБ с применением современных технологий и материалов [8]. В состав бетонной смеси входили цемент М500 ДО, песок кварцевый фракций 0,1...0,63 и модификатор бетона МБ3-50К. В/Ц составило 0,21. Для дисперсного армирования использовалась волновая фибра диаметром 0,3 мм, изготовленная из высокоуглеродистой латунированной стали с временным сопротивлением 1200 Н/мм². Объем вводимой фибры составил 180 кг/м³.

Исследование ползучести проводилось путем испытания сталефибробетонных образцов-призм размерами 7×7×28 см длительной нагрузкой разной интенсивности. Уровень нагружения составлял 0,3 и 0,6 от разрушающей нагрузки, определенной по образцам-близнецам в день нагружения. Загружение проводилось в различном возрасте: 7, 14, 28 и 90 сут. Параллельно велись замеры усадки для выделения деформаций ползучести из общих деформаций нагруженных образцов. Для минимизации воздействия факторов окружающей среды все образцы парафинировали. Измерение деформаций производилось индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм.

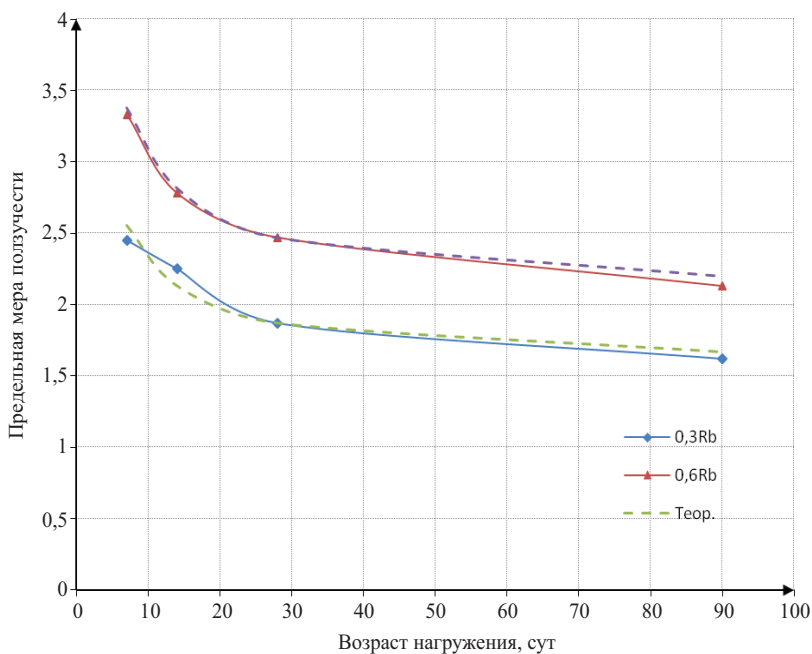
На основании экспериментальных данных по методике [9] были определены значения предельных деформаций и мер ползучести исследуемого сверхвысокопрочного сталефибробетона. В табл. 1 приведены значения предельных деформаций ползучести, предельной меры ползучести и меры ползучести в 180 сут для сталефибробетона, нагруженного в разном возрасте, а также прирост меры ползучести за время от 180 сут до максимального значения.

Табл. 1. Предельные деформации и меры ползучести

Показатель	7 сут		14 сут		28 сут		90 сут	
	$0,3R_b$	$0,6R_b$	$0,3R_b$	$0,6R_b$	$0,3R_b$	$0,6R_b$	$0,3R_b$	$0,6R_b$
$\varepsilon_{п.пред} \cdot 10^{-5}$	77	218	81	200	73	193	68	179

Показатель	7 сут		14 сут		28 сут		90 сут	
	0,3R _b	0,6R _b	0,3R _b	0,6R _b	0,3R _b	0,6R _b	0,3R _b	0,6R _b
$C(\infty, \tau) \cdot 10^{-5}$, МПа ⁻¹	2,33	3,3	2,25	2,78	1,87	2,47	1,62	2,13
$C(180, \tau) \cdot 10^{-5}$, МПа ⁻¹	2,08	3,00	1,93	2,40	1,62	2,16	1,31	1,75
Прирост меры ползучести, %	12	10	16,5	15,8	15,4	14,4	23,7	21,7

По полученным данным построены экспериментальные зависимости предельной меры ползучести от возраста бетона в момент загрузки для каждого уровня нагрузки, приведенные на рисунке. Как видно, зависимость носит нелинейный характер в более молодом возрасте, а после 28 сут график асимптотически стремится к линии, параллельной оси абсцисс.



Графики изменения предельных мер ползучести в зависимости от возраста и уровня нагрузки

В [10, 11] приведена модифицированная формула Е.Н. Щербакова для аппроксимации экспериментальных результатов:

$$C(\eta, \infty, \tau) = C(\eta, \infty, 28) \left[1 + \frac{A}{C+B} \left(\frac{t-28}{t+D} \right) \right]^n, \tag{1}$$

где A, C, D, n — безразмерные параметры; B — класс бетона по прочности на сжатие; $C(\eta, \infty, 28)$ — функция изменения предельной меры ползучести бетона в возрасте 28 сут в зависимости от уровня напряжения.

Результат подбора эмпирических коэффициентов, обеспечивающих наилучшую сходимость экспериментальных и теоретических зависимостей, представлен в табл. 2.

Табл. 2. Подобранные параметры в формуле (1)

Уровень напряжений	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>n</i>	<i>B</i>	$C(\eta, \infty, 28) \cdot 10^{-5}$, МПа ⁻¹
$0,3R_b$	22	55	7	-1,5	120	1,87
$0,6R_b$	22	55	7	-1,5	120	2,47

Как видно, для каждого уровня нагружений параметры одинаковы, поэтому формулу (1) можно записать следующим образом:

$$C(\eta, \infty, \tau) = C(\eta, \infty, 28) \left[1 + \frac{22}{55 + B} \left(\frac{t - 28}{t + 7} \right) \right]^{-1,5} \quad (2)$$

Из рис. 1 видно, что формула (2) позволяет описать изменение предельных мер ползучести сверхвысокопрочного сталефибробетона в зависимости от возраста бетона при различных уровнях нагрузки от $0,3R_b$ до $0,6R_b$ с высокой точностью.

Библиографический список

1. *Beddar M.* Fiber reinforced concrete: past, present and future // Научн. труды 2-й Всероссийской (междунар.) конф. по бетону и железобетону. М., 2005. Т. 3. С. 228—234.
2. *Горб А.М., Войлоков И.А.* Фибробетон — история вопроса, нормативная база, проблемы и решения // ALITInform международное аналитическое обозрение. 2009. № 2. С. 34—43.
3. *Almansour H., Loumus Z.* Structural performance of precast prestressed bridge girders built with ultra high performance concrete // Institute for Research in construction, 2008-03-07, The Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, March 05-07, Kassel, Germany, pp. 822—830.
4. *Arafa M., Shihada S., Karmout M.* Mechanical properties of ultra high performance concrete produced in the Gaza Strip // Asian Journal of Materials Science 2 (1), 2010, pp. 1—12.
5. *Schmidt M., Fehling E.* Ultra-high-performance concrete: research, development and application in Europe // ACI Special publication, v. 228, 2005, pp. 51—78.
6. *Мишина А.В., Андрианов А.А.* Работа высокопрочного сталефибробетона при кратковременном нагружении // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2011 г. : научные труды РААСН : в 2-х т. М. : МГСУ, 2012. Т. 2. С. 76—78.
7. *Пухаренко Ю.В., Голубев В.Ю.* Высокопрочный сталефибробетон // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 9. С. 40—41.
8. *Мишина А.В., Чилин И.А., Андрианов А.А.* Физико-технические свойства сверхвысокопрочного сталефибробетона // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 159—165.
9. ГОСТ 24544—81. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести.
10. *Карпенко Н.И., Ромкин Д.С.* Современные методы определения деформаций ползучести новых высокопрочных бетонов // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2011 г. : научные труды РААСН : в 2-х т. М. : МГСУ, 2012. Т. 2. С. 83—87.
11. *Ромкин Д.С.* Влияние возраста высокопрочного бетона на его физико-механические и реологические свойства : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2010. 12 с.

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Об авторах: **Мишина Александра Васильевна** — аспирант, ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21, amis25@mail.ru;

Безгодов Игорь Михайлович — научный сотрудник, ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26;

Андрианов Алексей Александрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской

академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21, 8(495)482-40-18, andalexalex@mail.ru.

Для цитирования: Мишина А.В., Безгоднов И.М., Андрианов А.А. Прогнозирование предельных деформаций ползучести сверхвысокопрочного сталефибробетона // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 66—70.

A.V. Mishina, A.A. Andrianov, I.M. Bezgodov

PREDICTION OF MAXIMUM CREEP STRAIN OF HIGH PERFORMANCE STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

The strongest research potential is demonstrated by the areas of application of high performance steel fiber reinforced concrete (HPSFRC). The research of its rheological characteristics is very important for the purposes of understanding its behaviour. This article is an overview of an experimental study of UHSSFRC. The study was carried out in the form of lasting creep tests of HPSFRC prism specimen, loaded by stresses of varied intensity. The loading was performed at different ages: 7, 14, 28 and 90 days after concreting. The stress intensity was 0.3 and 0.6 R_b ; it was identified on the basis of short-term crush tests of similar prism-shaped specimen, performed on the same day. As a result, values of ultimate creep strains and ultimate specific creep of HPSFRC were identified. The data was used to construct an experimental diagramme of the ultimate specific creep on the basis of the HPSFRC loading age if exposed to various stresses. The research has resulted in the identification of a theoretical relationship that may serve as the basis for the high-precision projection of the pattern of changes in the ultimate specific creep of HPSFRC, depending on the age of loading and the stress intensity.

Key words: high performance steel fiber reinforced concrete, specific creep, ultimate strain, strength, load intensity, creep.

References

1. Beddar M. Fiber Reinforced Concrete: Past, Present and Future. Scientific works of the 2nd International conference on concrete and reinforced concrete. Moscow, 2005, vol. 3. pp. 228—234.
2. Gorb A.M., Voylovokov I.A. Fibrobeton – istoriya voprosa, normativnaya baza, problemy i resheniya [Fibre-reinforced Concrete – Background, Normative Base (Problems and Solutions)] *ALITInform mezh-dunarodnoe analiticheskoe obozrenie* [ALITInform International Analytical Review]. 2009, no. 2, pp. 34—43.
3. Almansour H., Lounus Z. Structural Performance of Precast Pre-stressed Bridge Girders Built with Ultra High Performance Concrete. Institute for Research in Construction. The Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. March 05-07, 2008. Kassel, Germany, pp. 822—830.
4. Arafa M., Shihada S., Karmout M. Mechanical Properties of Ultra High Performance Concrete Produced in the Gaza Strip. *Asian Journal of Materials Science*, 2010, 2(1), pp. 1—12.
5. Schmidt M., Fehling E. Ultra-high-performance Concrete: Research, Development and Application in Europe. ACI Special Publication, 2005, vol. 228, pp. 51—78.
6. Mishina A.V., Andrianov A.A. Rabota vysokoprochnogo stalefibrobetona pri kratkovremen-nom zagruzhennii [Behaviour of High Strength Steel Fiber Concrete Exposed to Short-term Loading]. *Fundamental'nye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2011 g.* [Fundamental Researches of RAACS in Architecture, Town Planning and Construction Industry of the Russian Federation in 2011]. Moscow, MGSU Publ, 2012, vol. 2, pp. 76—78.
7. Pukharenko Yu.V., Golubev V.Yu. Vysokoprochnyy stalefibrobeton [High Strength Steel Fiber Reinforced Concrete] *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2007, no. 9, pp. 40—41.
8. Mishina A.V., Chilin I.A., Andrianov A.A. Fiziko-tekhnicheskie svoystva sverkhvysokoprochnogo stalefibrobetona [Physical Technical Properties of High Performance Steel Fiber Reinforced Concrete] *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 3, pp. 159—165.
9. GOST 24544—81. *Betony. Metody opredeleniya deformatsiy usadki i polzuchesti* [State Standard 24544—81. Concretes. Methods of Identification of Creep and Shrinkage Strain].
10. Karpenko N.I., Romkin D.S. *Sovremennyye metody opredeleniya deformatsiy polzuchesti novykh vysokoprochnykh betonov* [Advanced Methods of identification of Deformations of Creep of High-performance Concretes]. *Fundamental'nye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2011 g.* [Fundamental

Researches of RAACS in Architecture, Town Planning and Construction Industry of the Russian Federation in 2011]. Moscow, MGSU Publ, 2012, vol. 2, pp. 83—87.

11. Romkin D.S. *Vliyaniye vozrasta vysokoprochnogo betona na ego fiziko-mekhanicheskie i reologicheskie svoystva* [Influence of Age of High-strength Concrete on its Physical, Mechanical and Rheological Properties]. Moscow, 2010, 12 p.

About the authors: **Mishina Alexandra Vasil'evna** — postgraduate student, **Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAACS)**, 21 Lokomotivnyy proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; amis25@mail.ru;

Bezgodov Igor' Mikhailovich — researcher, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation;

Andrianov Aleksey Aleksandrovich — Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, **Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAACS)**, 21 Lokomotivnyy proezd, Moscow, 127238, Russian Federation; andalexalex@mail.ru; +7 (495) 482-40-18.

For citation: Mishina A.V., Bezgodov I.M., Andrianov A.A. Prognozirovaniye predel'nykh deformatsiy polzuchesti sverkhvysokoprochnogo stalefibrobetona [Prediction of Maximum Creep Strain of High Performance Steel Fiber Reinforced Concrete]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 12, pp. 66—70.