

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-1.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN117.pdf>

Статья опубликована 23.01.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Несветаев Г.В., Халезин С.В. Модель для оценки влияния рецептурных факторов на коэффициент ползучести бетона // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 691.327**

**Несветаев Григорий Васильевич**

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет», Россия, Ростов-на-Дону<sup>1</sup>  
Заведующий кафедрой «Технологии строительного производства»  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: nesgrin@yandex.ru

**Халезин Сергей Валерьевич**

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет», Россия, Ростов-на-Дону  
Аспирант  
E-mail: ya.serega.kh@yandex.ru

## **Модель для оценки влияния рецептурных факторов на коэффициент ползучести бетона**

**Аннотация.** Предложена модель, описывающая изменение величины коэффициента ползучести бетона в зависимости от объемов, модулей упругости и коэффициентов ползучести цементного камня, мелкого и крупного заполнителя, контактной зоны «цементный камень - заполнитель». Показано влияние суперпластификаторов на ползучесть бетона. При повышении модуля упругости крупного заполнителя от 40 до 70 ГПа, вызывающем повышение модуля упругости бетона до 42%, снижение коэффициента ползучести бетона не превышает 15%, а изменение концентрации крупного заполнителя от значения 0,35, характерного для самоуплотняющихся бетонов, до значения 0,65, характерного для бетонов с каркасной структурой, приводит к снижению коэффициента ползучести бетона от 2% до 23%; Основное влияние на ползучесть бетона оказывает изменение ползучести цементного камня вследствие введения в состав бетонной смеси суперпластификатора: повышение коэффициента ползучести цементного камня в два раза приводит к повышению коэффициента ползучести бетона от 25 до 81%, а в три раза - до 160%, причем в большей степени рост коэффициента ползучести имеет место в структурах с низким модулем упругости цементного камня, т.е. в бетонах низких и средних классов.

**Ключевые слова:** цементный камень; ползучесть; коэффициент ползучести; бетон; суперпластификатор; модель Хирча; модуль деформаций; модуль упругости; структура; контактная зона

Как известно, бетон можно рассматривать как упруговязкопластичное тело, поведение которого при «мгновенном» нагружении в принципе подчиняется обобщенному закону Гука,

---

<sup>1</sup> 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

но у которого при длительном действии нагрузки проявляются реологические свойства, в частности, деформации ползучести. Во всех теориях ползучести бетона одним из ключевых моментов можно рассматривать определение величины, количественно характеризующей деформации ползучести, т.е. коэффициента ползучести или меры ползучести, в некоторый момент времени (28 или 180 суток, в момент загрузки, в момент «стабилизации» и т.п.). Указанные величины определяются рецептурными факторами, в частности, зависят от вида цемента, свойств заполнителя, величины В/Ц, расхода воды, предела прочности бетона и др. [1-8].

Нормирование ползучести в СП 63.13330 устанавливает зависимость между коэффициентом ползучести бетона  $\phi$  (соотношение деформаций ползучести и упругих деформаций при одной и той же величине приложенного напряжения), классом бетона по прочности на сжатие В и относительной влажностью среды. В EN 196-1-1 нормирование предельного значения коэффициента ползучести бетона предусмотрено в зависимости от влажности среды, класса бетона по прочности на сжатие, сроков и уровня загрузки конструкции. В СНБ 5.03.01, помимо указанных факторов, ползучесть бетона нормируется также в зависимости от марки бетонной смеси по удобоукладываемости. Таким образом, только в СНБ 5.03.01 учитывается влияние на ползучесть бетона такого важного фактора, как технологические свойства бетонной смеси, причем различие коэффициента ползучести бетонов из высокоподвижных и жестких смесей составляет до  $1,2/0,7 = 1,7$  раза. Однако в СНБ 5.03.01 нет разделения этого результата на влияние макроструктуры и возможное влияние суперпластификаторов (СП).

Многие теории ползучести, как и основные закономерности, устанавливающие зависимость параметров простой линейной ползучести от состава и предела прочности бетона, были предложены, когда применение СП в технологии бетона не носило массовый характер [1-8]. Широкое применение СП в последние десятилетия, появление новых групп добавок, в т.ч. на основе эфиров поликарбоксилатов, предопределяют актуальность исследований их влияния на свойства бетона, в т.ч. на ползучесть. Согласно [9], СП на основе эфиров поликарбоксилатов могут изменять коэффициент ползучести цементного камня до 4 раз в зависимости от вида цемента. По данным [10] между ползучестью цементного камня, бетона, горных пород и их модулями упругости существует инвариантная к виду материала зависимость, согласно которой, вследствие введения в состав бетонной смеси СП, вызывающего возможное изменение модуля упругости бетона [10, 11] в пределах от 0,76 до 1,1 относительно эталонного состава без СП, возможно изменение меры ползучести бетона в пределах от 1,64 до 0,84 относительно эталонного состава. Причем в [10] высказано предположение о том, что изменение ползучести цементного камня с СП обусловлено не только изменением пористости цементного камня, но и другими факторами. Наряду с этими результатами имеются данные о том, что высокопрочные, в т.ч. самоуплотняющиеся бетоны, характеризуются коэффициентом ползучести, не отличающимся принципиально от его значений у бетонов, полученных из смесей с умеренной подвижностью [12, 13]. Таким образом, влияние СП и макроструктуры бетона на коэффициент ползучести может проявляться по-разному в зависимости от используемых материалов.

Учитывая то обстоятельство, что в России имеется порядка 60 цементных заводов, выпускающих цементы различного химико-минералогического состава и тонкости помола, а также огромное количество появившихся в последние 15 - 20 лет СП на различной химической основе, становится очевидным, что, с учетом продолжительности и трудоемкости экспериментальных исследований параметров ползучести бетона в сочетании с многообразием факторов, влияющих на его ползучесть, создание модели, позволяющей оценивать влияние различных факторов на коэффициент ползучести бетона, представляет актуальную задачу. Одним из направлений в этой области может быть создание модели, позволяющей выявить

закономерности изменения коэффициента ползучести бетона от концентрации (объемов), модулей упругости и коэффициентов ползучести цементного камня, мелкого и крупного заполнителей, контактной зоны «цементный камень - заполнитель» с учетом возможного влияния СП на деформационные свойства цементного камня и контактной зоны. Такие модели иногда называют «структурными».

Согласно [14] известная модель Хирча для определения модуля упругости бетона как двухкомпонентной системы «матрица (цементный камень) - заполнитель» может быть, после некоторых преобразований, использована для определения модуля деформаций при длительном нагружении бетона. При этом число элементов (компонентов) структуры бетона в модели может быть практически любым, что выгодно отличает рассматриваемую модель от известных [8] аналогов. Реализация указанных положений позволяет предложить для записи зависимости модуля деформаций бетона при длительном нагружении  $E_{C,\tau}$  формулу вида:

$$E_{C,\tau} = \frac{1}{\frac{E_{0,CS}}{1 + \varphi_{CS}} V_{CS} + \frac{E_{0,CA}}{1 + \varphi_{CA}} V_A + \frac{E_{0,FA}}{1 + \varphi_{FA}} + \frac{E_{0,TZ}}{1 + \varphi_{TZ}} V_{TZ}} + \frac{2}{\frac{V_{CS} (1 + \varphi_{CS})}{E_{0,CS}} + \frac{V_{CA} (1 + \varphi_{CA})}{E_{0,CA}} + \frac{V_{FA} (1 + \varphi_{FA})}{E_{FA}} + \frac{V_{TZ} (1 + \varphi_{TZ})}{E_{0,TZ}}}, \quad (1)$$

где:

$E_{0,CS}$ ;  $E_{0,CA}$ ;  $E_{0,FA}$ ;  $E_{0,TZ}$  - соответственно начальный модуль упругости цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне;

$V_{CS}$ ;  $V_{CA}$ ;  $V_{FA}$ ;  $V_{TZ}$  - соответственно относительный объем цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне;

$\varphi_{CS}$ ;  $\varphi_{CA}$ ;  $\varphi_{FA}$ ;  $\varphi_{TZ}$  - соответственно коэффициент ползучести цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне.

Поскольку при  $\varphi_i = 0$  ф.(1) трансформируется в зависимость для определения начального модуля упругости  $E_{C,0}$  бетона как четырехкомпонентной структуры вида:

$$E_{C,0} = \frac{1}{\frac{E_{0,CS} V_{CS}}{E_{0,C}} + \frac{E_{0,CA} V_{CA}}{E_{0,CA}} + \frac{E_{FA} V_{FA}}{E_{FA}} + \frac{E_{0,TZ} V_{TZ}}{E_{0,TZ}}} + \frac{2}{\frac{V_C}{E_{0,C}} + \frac{V_{CA}}{E_{0,CA}} + \frac{V_{FA}}{E_{FA}} + \frac{V_{TZ}}{E_{0,TZ}}}, \quad (2)$$

а коэффициент ползучести бетона  $\varphi_C$  связан с модулем деформаций при длительном нагружении  $E_{C,\tau}$  и начальным модулем упругости бетона  $E_0$  зависимостью

$$\varphi_C = \frac{E_0}{E_{C,\tau}} - 1, \quad (3)$$

то возможно, используя ф.(1-3), оценить влияние на коэффициент ползучести бетона его макроструктуры, под которой понимается соотношение относительных объемов цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне. При этом, поскольку ф.(1, 2) учитывают деформационные свойства элементов структуры при кратковременном (начальный модуль упругости цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне) и длительном (коэффициент ползучести цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне) действии нагрузки, ф.(1-3) можно рассматривать как структурную модель, описывающую изменение коэффициента ползучести бетона в зависимости от концентрации и свойств его составляющих.

При реализации численного эксперимента в рамках данной работы значения входящих в ф.(1, 2) величин принимались:

- начальный модуль упругости цементного камня  $E_{0,CS}$  от 15000 до 28000 МПа, что примерно соответствует пределу прочности цементного камня от 45 до 125 МПа;
- начальный модуль упругости крупного заполнителя  $E_{0,CA}$  от 40000 (некоторые песчаники) до 120000 МПа (базальт);
- начальный модуль упругости мелкого заполнителя  $E_{0,FA}$  от 60000 до 70000 МПа (кварцевые и полевошпатовые пески);
- начальный модуль упругости контактной зоны  $E_{0,TZ}$  от 0,9 до 0,5 величины начального модуля упругости цементного камня  $E_{0,CS}$ ;
- относительный объем цементного камня в бетоне  $V_{CS}$  от 0,2 до 0,4, причем вместе с объемом контактной зоны  $V_{TZ}$  относительный объем цементного камня  $V_{CS}$  принимался равным 0,6 от объема растворной составляющей  $V_{CS} + V_{FA} + V_{TZ}$ ;
- относительный объем крупного заполнителя в бетоне от 0,35, что характерно для бетонов из самоуплотняющихся бетонных смесей, до 0,65, что характерно для бетонов с каркасной структурой [15];
- относительный объем контактной зоны  $V_{TZ}$  в бетоне 0,05 объема цементного камня  $V_{CS}$ .

Величины коэффициентов ползучести цементного камня  $\varphi_{CS}$ , крупного заполнителя  $\varphi_{CA}$ , мелкого заполнителя  $\varphi_{FA}$  и контактной зоны  $\varphi_{TZ}$  в бетоне принимались в зависимости от соответствующих величин начальных модулей упругости указанных компонентов структуры  $E_{0,CS}$ ;  $E_{0,CA}$ ;  $E_{0,FA}$ ;  $E_{0,TZ}$  по формуле [10]

$$\varphi_i \approx \frac{8 \cdot 10^3}{E_{0,i}^{0,8}} \quad (4)$$

Поскольку по данным [9-13, 16, 17] СП может оказывать, в т.ч., значительное влияние на коэффициент ползучести цементного камня, например, по данным [9] - до 5 раз, по [10, 11] - до 3 раз, для моделирования этого эффекта при реализации численного эксперимента в ряде случаев величины коэффициента ползучести цементного камня  $\varphi_{CS}$  и коэффициента ползучести контактной зоны  $\varphi_{TZ}$  принимались с коэффициентами 2 и 3 относительно значений, полученных по ф.(4).

В результате реализации численного эксперимента с использованием предложенной модели ф.(1-3) получены зависимости коэффициента ползучести бетона от его модуля упругости, которые в общем виде могут быть представлены в виде формулы

$$\varphi = \frac{k}{E_0^x}, \quad (5)$$

в которой значения параметров  $k$  и  $x$  меняются в зависимости от принятых начальных условий при расчете по ф.(1-3) и представлены в табл. 1.

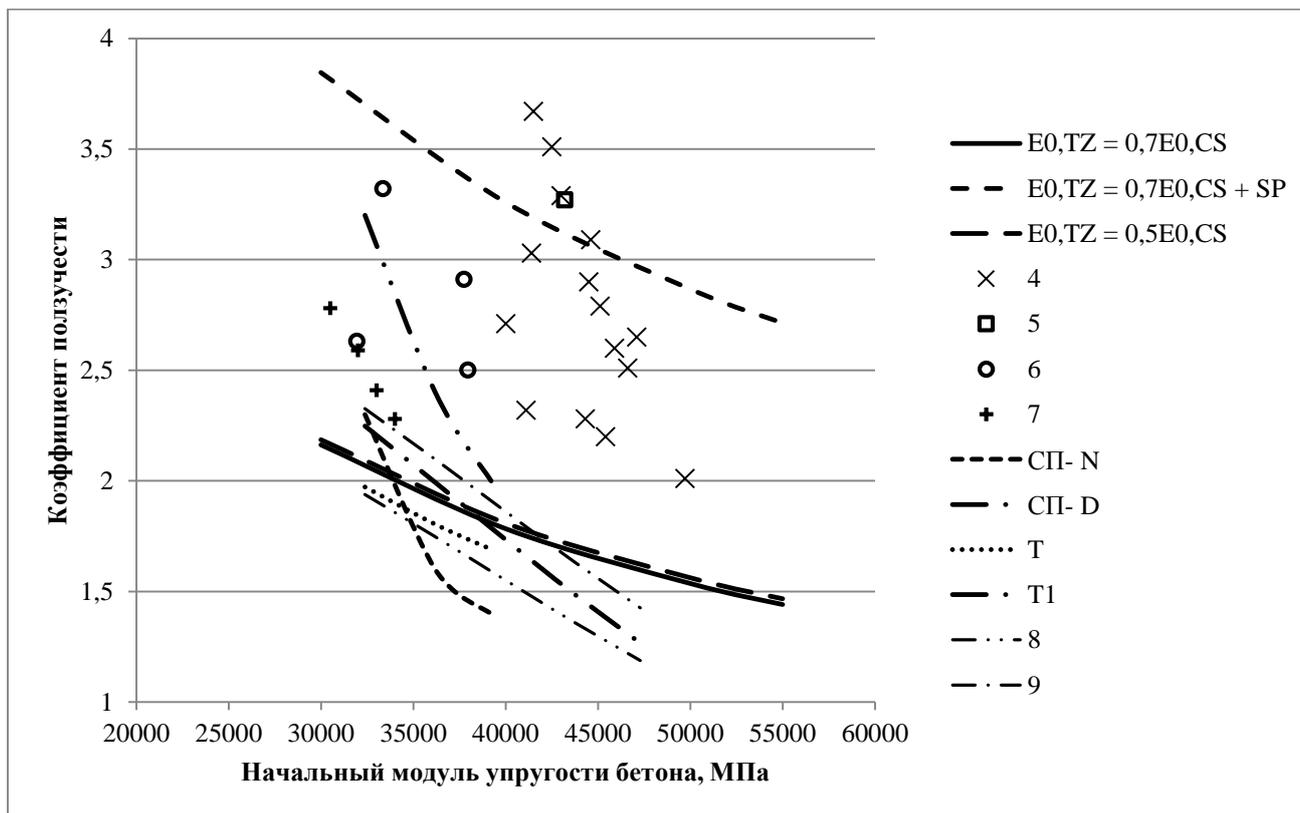
**Таблица 1**

**Значения параметров  $k$  и  $x$  в ф.(5) (составлено автором)**

	Модуль упругости контактной зоны	Наличие СП	Параметры	
			$k$	$x$
1	$E_{0,TZ} = 0,7E_{0,CS}$	Нет	2139	0,669
2	$E_{0,TZ} = 0,5E_{0,CS}$	Нет	1930	0,658
3	$E_{0,TZ} = 0,7E_{0,CS}$	Да	1443	0,575

Анализ представленных в табл. 1 данных показывает, что модуль упругости контактной зоны между цементным камнем и заполнителем оказывает незначительное влияние на зависимость между коэффициентом ползучести бетона и его модулем упругости, поскольку значения параметров  $k$  и  $x$  в ф.(5) практически не отличаются, тогда как наличие СП в значительной степени влияет на указанную зависимость.

Значения коэффициента ползучести бетона, полученные по ф.(5), сопоставлялись с некоторыми экспериментальными данными, нормативными значениями и расчетными по ф.(4) значениями (рис. 1).



$E_{0,TZ} = 0,7E_{0,CS}$ ;  $E_{0,TZ} = 0,7E_{0,CS} + SP$ ;  $E_{0,TZ} = 0,5E_{0,CS}$  - по ф.(5); 4-7 по [18-20]; СП - N, СП - D - по СП 63.13330 соответственно для нормальных и сухих условий выдерживания; T - по ф.(4); T1 - формуле  $\varphi = \frac{0,00322 \cdot E_0}{R^z}$  ( $b = z$ ), полученной из формулы Вёльми (Voellmy)  $C_0 = \frac{0,0025}{R}$  [8], 8, 9 - по

формуле  $\varphi = C_0 \cdot E_0$ , где  $C_0$  определено по формуле Щербакова Е.Н.  $C_{28}^* = (0,13 + \frac{1545}{R}) \frac{10^{-6} B}{100}$  [4, 8] при расходе воды 150 и 200 л/м<sup>3</sup> соответственно (разработано автором)

**Рисунок 1.** Зависимость коэффициента ползучести бетона от начального модуля упругости

Из представленных на рис. 1 данных очевидно:

- закономерности изменения коэффициента ползучести бетона по ф.(4) и по ф.(5) подобны, т.е. ф.(1-3) позволяют получать данные, аналогичные значениям, полученным по ф.(4), но при этом учитывают влияние СП на ползучесть бетона, что очень важно для практического применения результатов;
- значения коэффициента ползучести бетона, полученные по формуле  $\varphi = \frac{0,00322 \cdot E_0}{R^z}$ , в диапазоне изменения модуля упругости бетона от 30000 до 42000 МПа (классы бетона по прочности на сжатие В25 - В80), неплохо коррелируют с результатами, полученными по ф.(1-3) без учета влияния СП на ползучесть

бетона. Это вполне закономерно, поскольку эмпирическая формула  $\varphi = \frac{0,00322 \cdot E_0}{R^2}$ , устанавливающая связь между коэффициентом ползучести бетона и его пределом прочности, была получена в результате статистической обработки огромного массива данных, не включающего бетоны с СП;

- нормируемые значения коэффициента ползучести бетона по СП 63.13330 несколько отличаются от значений, полученных по ф.(1-5), формулам Щербакова Е.Н. и Вёльми (Voellmy);
- экспериментальные значения [18-20] и рекомендуемые в [21] значения коэффициента ползучести бетона с СП не противоречат результатам, полученным по ф.(1-3);
- модуль упругости контактной зоны между цементным камнем и заполнителем не оказывает влияния на зависимость между коэффициентом ползучести бетона и его модулем упругости;
- при повышении коэффициента ползучести цементного камня и контактной зоны в 2 раза за счет введения в состав бетона СП коэффициент ползучести бетона возрастает почти вдвое.

Таким образом, можно утверждать, что ф.(1-3) позволяют выявить закономерности изменения коэффициента ползучести бетона от параметров его макроструктуры (относительный объем цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне), деформационных свойств элементов структуры при кратковременном (начальный модуль упругости цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне) и длительном (коэффициент ползучести цементного камня, крупного заполнителя, мелкого заполнителя и контактной зоны в бетоне) действии нагрузки. Некоторое несоответствие расчетных значений по ф.(1-3) с нормируемыми по СП 63.13330 может быть связано, во-первых, с тем фактом, что в СП 63.13330 никак не учтено возможное влияние СП на ползучесть бетона. Во-вторых, ф.(1-3) на данном этапе исследования содержат не достаточно полную и обоснованную информацию по входящим в них параметрам (объем и модуль упругости контактной зоны) и предназначены в основном для выявления тенденций изменения коэффициента ползучести бетона от рецептурных факторов, а не для получения численных значений параметров ползучести для конкретных бетонов. Кроме того, нормируемые в СП 63.13330 значения коэффициента ползучести бетона не совсем согласуются со значениями, полученными по формулам Щербакова Е.Н. и Вёльми (Voellmy), которые являются результатом анализа огромного количества экспериментальных данных, что вызывает сомнение относительно целесообразности нормируемых значений в качестве эталона.

Для выявления закономерностей влияния на модуль упругости и коэффициент ползучести бетона таких факторов, как концентрация крупного заполнителя в бетоне  $\varphi_{CA}$ , модуль упругости крупного заполнителя в бетоне  $E_{0,CA}$ , модуль упругости цементного камня  $E_{0,CS}$  и контактной зоны  $E_{0,TZ}$ , а также возможного влияния СП с применением ф.(1-3) реализован численный эксперимент, некоторые результаты которого представлены в табл. 2, 3.

**Таблица 2**

**Влияние СП, концентрации и модуля упругости крупного заполнителя на модуль упругости бетона (составлено автором)**

№	Модуль упругости крупного заполнителя, ГПа	СП	Модуль упругости бетона, ГПа, при модуле упругости цементного камня			
			15 ГПа		28 ГПа	
			Концентрация крупного заполнителя			
			0,35	0,65	0,35	0,65
1	40	Нет	30,3	34,1	39,2	39,6
		Есть	28,8	33,1	37,6	38,7
2	70	Нет	35,5	46,7	47,3	56,2
		Есть	33,7	45,0	45,2	54,7

Из представленных в табл. 2 результатов следует:

- при повышении модуля упругости крупного заполнителя от 40 до 70 ГПа повышение модуля упругости бетона составляет от 17 до 42%, при этом в большей степени повышение модуля упругости бетона отмечается при концентрации крупного заполнителя 0,65 и более высоком значении модуля упругости цементного камня;
- повышение концентрации крупного заполнителя приводит к повышению модуля упругости бетона от 1% в случае низкого модуля крупного заполнителя в сочетании с высоким модулем упругости цементного камня, до 33% в случае высокого модуля крупного заполнителя в сочетании с низким модулем упругости цементного камня;
- при возможном снижении модуля упругости цементного камня на 10% вследствие применения СП снижение модуля упругости бетона составляет от 2,5 до 5%;
- модуль упругости контактной зоны практически не влияет на модуль упругости бетона, что согласуется с данными [22].

**Таблица 3**

**Влияние СП, концентрации и модуля упругости крупного заполнителя на коэффициент ползучести бетона (составлено автором)**

№	Модуль упругости крупного заполнителя, ГПа	СП	Коэффициент ползучести бетона при модуль упругости цементного камня			
			15 ГПа		28 ГПа	
			Концентрация крупного заполнителя			
			0,35	0,65	0,35	0,65
1	40	Нет	$\frac{2,46 (100)^2}{100^1}$	$\frac{2,15 (87)^2}{100^1}$	$\frac{1,74 (100)^2}{100^1}$	$\frac{1,71 (98)^2}{100^1}$
		Есть	$\frac{4,16 (100)^2}{169^1}$	$\frac{3,21 (77)^2}{149^1}$	$\frac{2,53 (100)^2}{145^1}$	$\frac{2,14 (85)^2}{125^1}$
2	70	Нет	$\frac{2,44 (100)^2}{100^1}$	$\frac{2,09 (86)^2}{100^1}$	$\frac{1,58 (100)^2}{100^1}$	$\frac{1,38 (87)^2}{100^1}$
		Есть	$\frac{4,42 (100)^2}{181^1}$	$\frac{3,46 (78)^2}{166^1}$	$\frac{2,48 (100)^2}{157^1}$	$\frac{1,96 (79)^2}{142^1}$

Примечания: 1 - в знаменателе - в % от значения для состава, не содержащего СП; 2 - в скобках - в % от значения для состава с концентрацией крупного заполнителя 0,35

Из представленных в табл. 3 результатов следует:

- при повышении модуля упругости крупного заполнителя от 40 до 70 ГПа, вызывающем повышение модуля упругости бетона до 42% (табл. 2), снижение коэффициента ползучести бетона не превышает 15%, причем в случае применения СП возможно даже повышение коэффициента ползучести до 6%, хотя, в соответствии с ф.(4), в этом случае снижение коэффициента ползучести бетона возможно до 55%;
- при повышении концентрации крупного заполнителя от значения 0,35, характерного для самоуплотняющихся бетонов, до значения 0,65, характерного для бетонов с каркасной структурой, снижение коэффициента ползучести бетона составляет от 2% до 23%, т.е. изменяется не очень значительно. Этот вывод имеет важное практическое значение, поскольку означает, что в случае применения СП, не оказывающих существенного влияния на ползучесть цементного камня, ползучесть самоуплотняющихся бетонов будет незначительно отличаться от ползучести традиционных бетонов из умеренно-подвижных и жестких смесей с вибрационным уплотнением, что отмечено, например, в [12, 13, 17];
- при повышении коэффициента ползучести цементного камня в два раза вследствие применения СП повышение коэффициента ползучести бетона составляет от 25 до 81%, причем в большей степени рост коэффициента ползучести имеет место в структурах с низким модулем упругости цементного камня, т.е. в бетонах низких и средних классов. Повышение коэффициента ползучести цементного камня в три раза приводит к росту коэффициента ползучести бетона до 160% относительно бетона без СП. В связи с вышеизложенным для ограничения ползучести бетонов целесообразно подбирать СП, оказывающие минимальное влияние на ползучесть цементного камня. Особенно эффективным для снижения ползучести бетона может быть сочетание СП с некоторыми минеральными модификаторами [12, 17, 18, 20].

### Выводы

1. Предложена модель, описывающая изменение величины коэффициента ползучести бетона в зависимости от объемов, модулей упругости и коэффициентов ползучести цементного камня, мелкого и крупного заполнителей, контактной зоны «цементный камень - заполнитель», сопоставление которой с некоторыми экспериментальными данными и расчетными значениями, полученными по известным зависимостям, подтвердило ее адекватность.
2. При повышении модуля упругости крупного заполнителя от 40 до 70 ГПа, вызывающем повышение модуля упругости бетона до 42%, снижение коэффициента ползучести бетона не превышает 15%.
3. Изменение концентрации крупного заполнителя от значения 0,35, характерного для самоуплотняющихся бетонов, до значения 0,65, характерного для бетонов с каркасной структурой, приводит к снижению коэффициента ползучести бетона от 2% до 23%.
4. Основное влияние на ползучесть бетона оказывает возможное изменение ползучести цементного камня и контактной зоны вследствие введения в состав бетонной смеси СП. Повышение коэффициента ползучести цементного камня в два раза приводит к повышению коэффициента ползучести бетона от 25 до 81%, а в три раза - до 160%. В большей степени рост коэффициента ползучести имеет место в структурах с низким модулем упругости цементного камня, т.е. в бетонах низких и средних классов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. - М.: Стройиздат, 1979. - 343 с.
2. Цилосани, З.Н. Усадка и ползучесть бетона. - Тбилиси: Мецниереба, 1979. - 229 с.
3. Улицкий, И.И. Усадка и ползучесть бетона заводского изготовления / И.И. Улицкий, С.В. Киреева. - К.: Будивельник, 1965. - 106 с.
4. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. - М.: Стройиздат, 1971. - 207 с.
5. Серегин, И.Н. Ползучесть бетона в дорожно-мостовых сооружениях. - М.: Транспорт, 1965. - 146 с.
6. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций / Под ред. С.В. Александровского. - М.: Стройиздат, 1976. - 351 с.
7. Ползучесть строительных материалов и конструкций / Под ред. А.Р. Ржаницына. - М.: Стройиздат, 1964. - 282 с.
8. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси: Ползучесть. Ч.1: Справ. Под ред. П.Г. Комохова. - С.-Пб.: НПО «Профессионал», 2007. - С. 310 - 322.
9. Несветаев, Г.В. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк // Строительные материалы. - 2009. - №6. - С. 68-71.
10. Несветаев, Г.В. О ползучести цементного камня и бетона с модифицирующими добавками / Г.В. Несветаев, Г.С. Кардумян // Бетон и железобетон 2014. - №4. - С. 6-8.
11. Несветаев, Г.В. Влияние собственных деформаций на пористость и свойства цементного камня / Г.В. Несветаев, Г.С. Кардумян // Строительные материалы. - 2015. - №9. - С. 38-42.
12. Каприелов, С.С. Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны с улучшенными деформативными характеристиками / А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян, В.Г. Дондуков // Бетон и железобетон, №2, 2006. - С. 2 - 7.
13. Brooks, J.J., Megat Johari M.A. Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete// Cement and concrete composites. - 23 (2001) 495 - 502.
14. Несветаев, Г.В. Применение модели Хирча для прогнозирования меры ползучести бетона / «Строительство-2008»: Мат-лы межд. конф. - Ростов-на-Дону: РГСУ, 2008. - С. 101-102.
15. Несветаев, Г.В. О прочности бетона с каркасной структурой / Г.В. Несветаев, С.В. Халезин // Наукоедение. Том 7, №3 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN315.pdf>.
16. Москвин, В.М. Прочность и деформации мелкозернистых бетонов с добавками суперпластификаторов С-3 и С-4 / В.М. Москвин, Р.Л. Серых, С.И. Фурманов, Ю.К. Калашников / Бетоны с эффективными модифицирующими добавками. - М.: НИИЖБ, 1985. - С. 25-33.
17. Каприелов, С.С. О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С / С.С. Каприелов, Н.И.

- Карпенко, А.В. Шейнфельд, Е.Н. Кузнецов // Бетон и железобетон. - 2003. - №6. - С. 8-12.
18. Несветаев, Г.В. Модуль упругости цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении / Г.В. Несветаев, Г.С. Кардумян // Бетон и железобетон. - 2013. - №6. - С. 10-13.
19. Несветаев, Г.В. Деформационные свойства бетонов классов В40 - В60 из высокоподвижных смесей на материалах Вьетнама / Г.В. Несветаев, Ву Ле Куен // Наукоедение. Том 7, №3 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/78TVN315.pdf>.
20. Несветаев, Г.В. Некоторые свойства напрягающих бетонов с добавкой «Эмбэлит» / Г.В. Несветаев, Л.Н. Хомич // Научное обозрение. - 2014. - №10. - С. 642-645.
21. Методические рекомендации по расчету напряженного состояния железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом ползучести и усадки бетона: Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства. - М.: 1987.
22. Nesvetaev, G.V. On the possibility of calculating the elastic modulus of concrete / G.V. Nesvetaev, G.A. Airapetov / Festschrift zum 65. Geburtstag von prof. Dr.-Ing F.S. Rostasy. Braunschweig, 1997. - Heft 128. - p. 115-122.

### **Nesvetaev Grigory Vasilievich**

Rostov state university of civil engineering, Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: nesgrin@yandex.ru

### **Halezin Sergey Valerievich**

Rostov state university of civil engineering, Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: ya.serega.kh@yandex.ru

## **Model to predict the effect of composition factors on concrete creep coefficient**

**Abstract.** A model describing the change of concrete creep coefficient values depending on the volume, the E-modulus and creep coefficient of cement paste, fine and coarse aggregate and contact zone "cement stone - aggregate" including the influence of superplasticizers on concrete creep was proposed. With increasing E-modulus of coarse aggregate from 40 to 70 GPa causing increase in the E-modulus of concrete up to 42% reduction the concrete creep coefficient does not exceed more than 15%. The change in the concentration of coarse aggregate from the value 0,35 characteristic of self-compacting concrete, to the value 0,65, characteristic for concrete with frame structure, reduces of concrete creep coefficient from 2% to 23%. The main influence on concrete creep coefficient has change cement stone creep due to the introduction of the concrete mix superplasticizers. Improving cement stone creep coefficient twice increases the creep coefficient of concrete from 25 to 81%, and three times - up to 160%. More degree creep coefficient increases occurs in structures with low modulus of elasticity of cement stone, i.e. in concrete of low and middle classes.

**Keywords:** cement stone; creep; creep coefficient; concrete; superplasticizer; Hirsch model; modulus of deformation; E-modulus; structure; transition zone

### **REFERENCES**

1. Sheikin, A.E. Structure and properties of cement concrete / A.E. Sheikin, Y.V. Chekhovskiy, M.I. Brusser. - M.: Stroyizdat, 1979. - 343 p.
2. Tsilosani, Z.N. Shrinkage and creep of concrete. - Tbilisi: Metsniereba, 1979. - 229 p.
3. Ulitsky, I.I. Shrinkage and creep of prefabricated concrete units / I.I. Ulitsky, S.V. Kireeva. - K.: Budivel'nik, 1965. - 106 p.
4. Berg, O.Ja. High-strength concrete / O.Ja. Berg, E.N. Shcherbakov, G.N. Pisanko. - M.: Stroyizdat, 1971. - 207 p.
5. Seregin, I.N. Creep of concrete road bridge constructions. - M.: Transport, 1965. - 146 p.
6. Creep and shrinkage of concrete and reinforced concrete structures / Ed. S.V. Alexandrovsky. - M.: Stroyizdat, 1976. - 351 p.
7. Creep of building materials and constructions / Ed. A.R. Rzhantsin. - M.: Stroyizdat, 1964. - 282 p.
8. Cement, concrete, mortars and dry mixes: Creep. Part 1: Ref. Ed. P.G. Komohov. - S.-Pb.: NPO "Professional", 2007. - pp. 310 - 322.
9. Nesvetaev, G.V. SCC: elastic modulus and creep coefficient / G.V. Nesvetaev, A.N. Davidyuk // Building materials. - 2009. - №6. - pp. 68-71.

10. Nesvetaev, G.V. About creep coefficient of cement stone and concrete with chemical admixtures / G.V. Nesvetaev, G.S. Kardumyan // Concrete and reinforced concrete. - 2014. - №4. - pp. 6-8.
11. Nesvetaev, G.V. Effect of own strain porosity and properties of cement stone / G.V. Nesvetaev, G.S. Kardumyan // Building materials. - 2015. - №9. - S. 38-42.
12. Kapriellov, S.S. On regulation of the E-modulus and creep coefficient of high-strength concrete with the modifier MB-50C / S.S. Kapriellov, N.I. Karpenko, A.V. Sheynfeld, E.N. Kuznetsov // Concrete and reinforced concrete. - 2003. - №6. - pp. 8-12.
13. Brooks, J.J., Megat Johari M.A. Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete // Cement and concrete composites. - 23 (2001) pp. 495 - 502.
14. Nesvetaev, G.V. Application of Hirsch model for predicting creep coefficient of concrete / "Building 2008": Materials of Int. Conf. - Rostov-on-Don: RSSU, 2008. - pp. 101-102.
15. Nesvetaev, G.V. On the strength of the concrete with frame structure / G.V. Nesvetaev, S.V. Khalezin // Naukovedenie. Volume 7, №3 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN315.pdf>.
16. Moskvina, V.M. The strength and deformation of fine-grained concrete with superplasticizer C-3 and C-4 / V.M. Moskvina, R.L. Seryh, S.I. Furmanov, J.K. Kalashnikov / Concretes with efficient admixtures. - M.: NIIZhB, 1985. - pp. 25-33.
17. Kapriellov, S.S., The modified high-strength fine-grained concrete with improved deformation characteristics / A.V. Sheynfeld, G.S. Kardumyan, V.G. Dondukov // Concrete and reinforced concrete, №2, 2006. - S. 2 - 7.
18. Nesvetaev, G.V. The E-modulus of cement stone with superplasticizers and organic modifiers, taking into account its own strain during hardening / G.V. Nesvetaev, G.S. Kardumyan // Concrete and reinforced concrete. - 2013. - №6. - pp. 10-13.
19. Nesvetaev, G.V. Deformation properties of concrete B40 - B60 classes made with high slump mixtures on the Vietnam materials / G.V. Nesvetaev, Wu Le Quyen // Naukovedenie. Volume 7, №3 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/78TVN315.pdf>.
20. Nesvetaev, G.V. Some properties of concrete with the expansive additive "Embelit" / G.V. Nesvetaev, L.N. Khomich // Scientific Review. - 2014. - №10. - pp. 642-645.
21. Guidelines for the calculation of the stress state of reinforced concrete structures of transport facilities, taking into account creep and shrinkage of concrete: All-union Research Institute of Transport Construction. - M.: 1987.
22. Nesvetaev, G.V. On the possibility of calculating the elastic modulus of concrete / G.V. Nesvetaev, G.A. Airapetov / Festschrift zum 65. Geburtstag von prof. Dr.-Ing F.S. Rostasy. Braunschweig, 1997. - Heft 128. - p. 115-122.