

Деформационные свойства и параметрические точки бетонов каркасной структуры

Д.Р. Маилян, Г.В. Несветаев, С.В. Халезин, А.А. Горцевской

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Выявлены особенности диаграммы деформирования при кратковременном центральном осевом сжатии бетона каркасной структуры класса В60, полученного погружением крупного заполнителя в маловязкую растворную составляющую. Определены границы микротрещинообразования бетона. Показано хорошее соответствие основных закономерностей изменения предела прочности и деформационных свойств бетона каркасной структуры с некоторыми известными данными. Подтверждена возможность аналитического описания диаграммы деформирования бетона каркасной структуры известной формулой Саржина (Sargine). Представлены данные об изменении начального модуля упругости, коэффициента Пуассона, изменения объема бетона и скорости распространения ультразвука в бетоне в зависимости от уровня нагружения. Приведено соотношение кубиковой и призмочной прочности. Сделан вывод о целесообразности применения бетона каркасной структуры в железобетонных колоннах.

Ключевые слова: бетон каркасной структуры, предел прочности, модуль упругости, диаграмма деформирования, параметрические точки, микротрещинообразование, суперпластифицирующая добавка

Бетоны каркасной структуры вследствие высокой концентрации крупного заполнителя характеризуются высокой прочностью, низким удельным расходом цемента и некоторыми особенностями диаграммы «напряжения-деформации» [1-4], что предопределяет целесообразность подробного исследования закономерностей их деформирования с целью выявления наиболее рациональных областей применения при производстве железобетонных изделий и конструкций. Изучены закономерности деформирования бетона каркасной структуры, полученного с использованием ПЦ 500 Д0, песка с модулем крупности 1,52, щебня фракции 5 – 20 мм производства «Донской камень» и суперпластифицирующей добавки (далее – СП) на основе эфиров поликарбоксилатов. Прочность и деформационные свойства бетона определялись на образцах 150x150x150 мм и 150x150x600мм, растворной составляющей (или МЗБ) на образцах 40x40x160 мм. Начальный модуль упругости растворной составляющей

определен по величине динамического модуля упругости [5]. Основные свойства растворной составляющей и бетона каркасной структуры представлены в таблице №1.

Таблица №1

Свойства растворной составляющей и бетона каркасной структуры

Бетон	ρ/R_k , кг/(м ³ ·МПа)	R, МПа			E_0 , ГПа	$\varepsilon_{R,5}$, 10 ⁵	λ_R
		балочка	куб	призма			
МЗБ (растворная составляющая)	15,5	82,4	62,7		23,8		
Бетон каркасной структуры	6,3		66,9	59,6	32,5	225	0,83

На рис. 1 представлена зависимость предела прочности бетона каркасной структуры от предела прочности растворной составляющей.

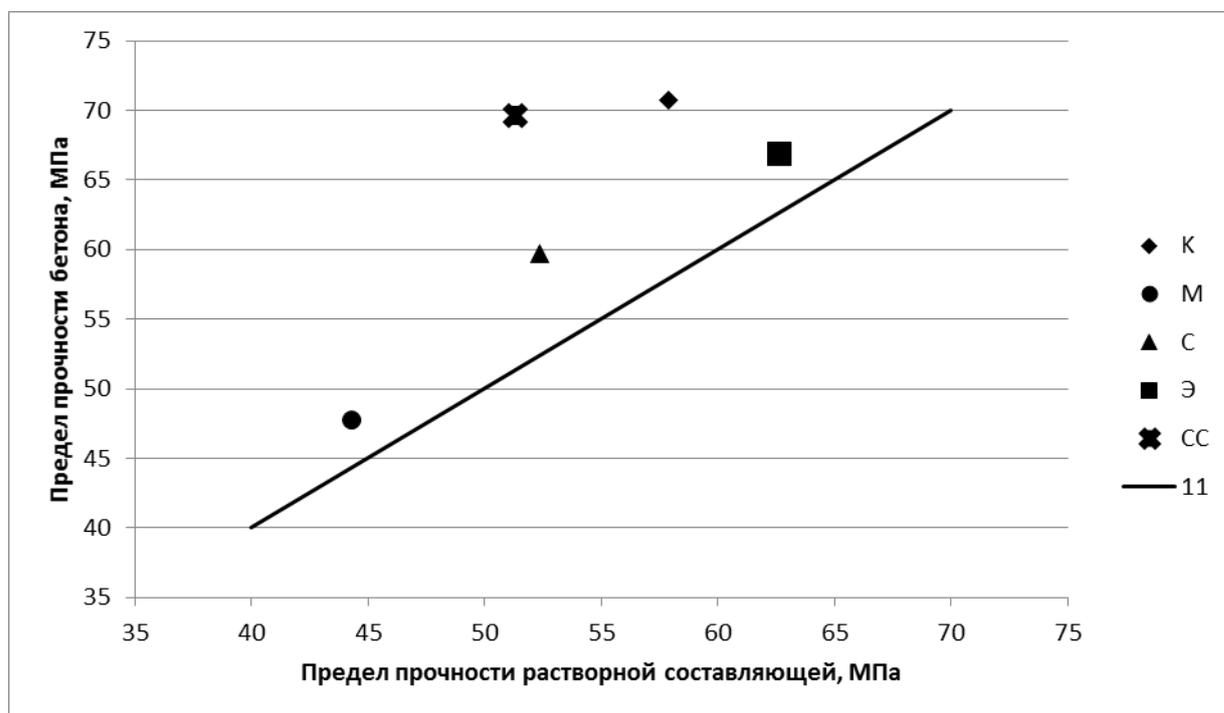


Рис. 1. – Зависимость предела прочности бетона каркасной структуры от предела прочности растворной составляющей

К,М,С,СС – по данным [3, 4], 11 – $R_B = R_P$;

Э – экспериментальные данные

Из рис. 1 следует, что предел прочности бетона каркасной структуры практически линейно зависит от прочности растворной составляющей, как было отмечено в [3]. Несколько лучшие результаты обеспечиваются при использовании заполнителей более высокого качества.

На рис. 2 представлена зависимость предела прочности бетона каркасной структуры от величины В/Ц, т.е., фактически, от предела прочности растворной составляющей.

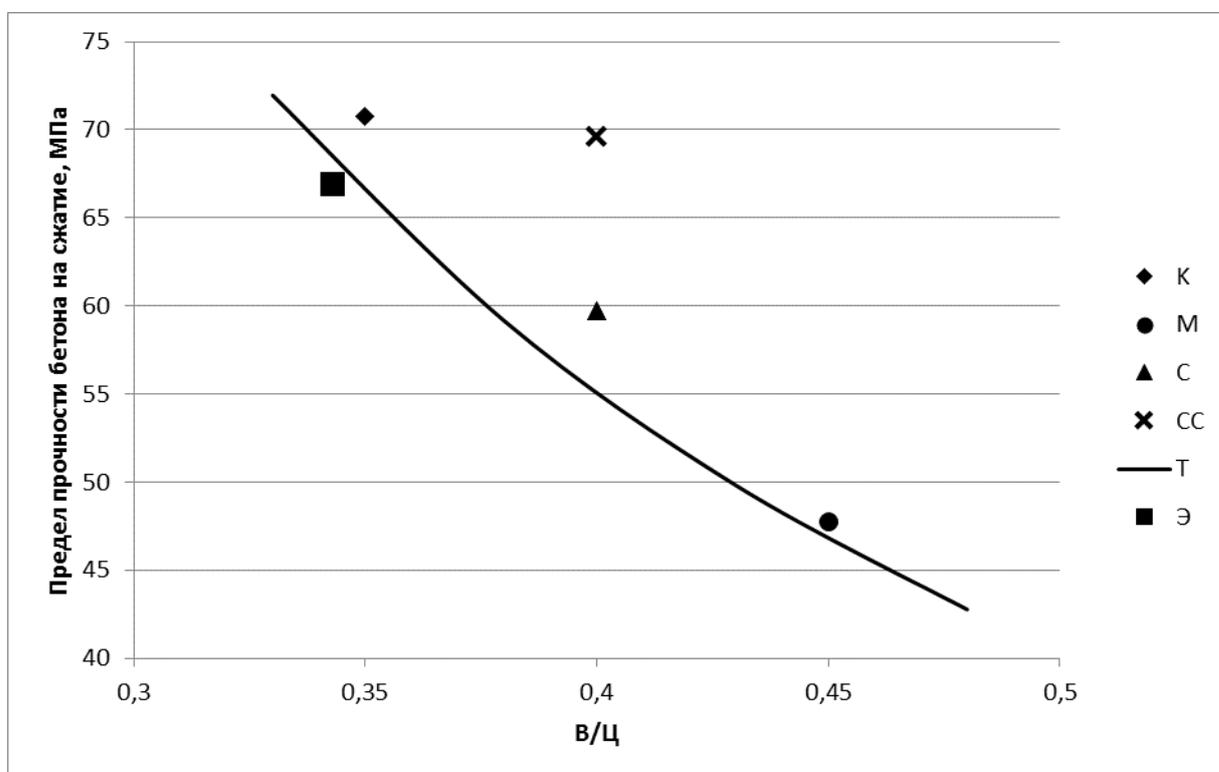


Рис. 2. – Зависимость предела прочности бетона каркасной структуры от В/Ц

К,М,С,СС – по данным [3,4], Т – по формуле $R_B = \frac{\alpha \cdot R_{Ц}}{C^1.39}$ [5];

Э – экспериментальные данные

Из рис. 2 очевидно, что предел прочности бетона каркасной структуры подчиняется известной закономерности изменения предела прочности бетона от величины В/Ц, что вполне закономерно, поскольку величина В/Ц определяет предел прочности растворной составляющей, от которой, в

соответствии с рис. 1, зависит предел прочности бетона каркасной структуры.

На рис. 3 представлена диаграмма деформирования бетона при центральном осевом сжатии в условиях стандартных испытаний.

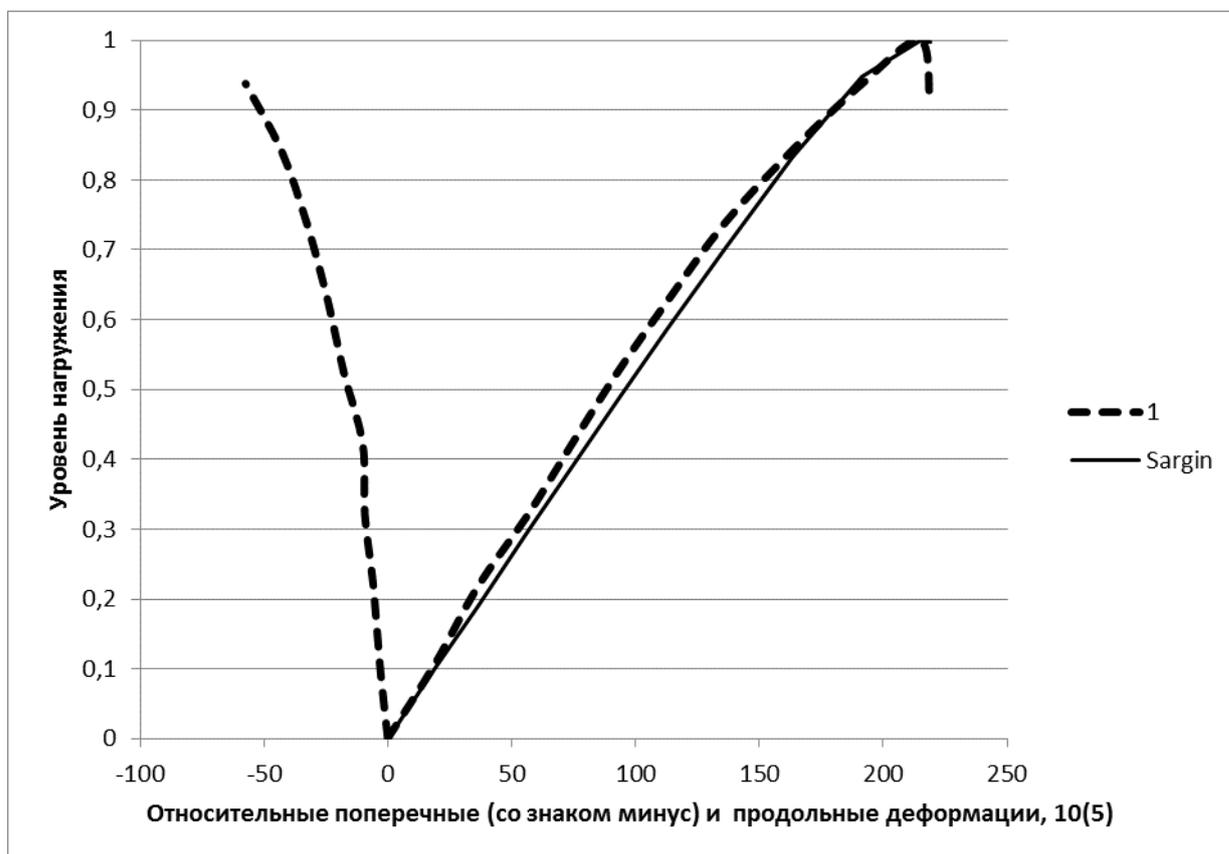


Рис. 3. – Зависимость продольных и поперечных относительных деформаций бетона от уровня нагружения

$$\text{Sargin – по формуле } \frac{\sigma}{R} = \frac{k \cdot \varepsilon - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}\right)^2}{1 + (k-2) \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}} [6].$$

Очевидно, что изменение продольных деформаций бетона хорошо описывается известной формулой Саржина (Sargin) [6]. Определенные из диаграммы деформирования такие параметры деформаций бетона как начальный модуль упругости бетона E_0 , коэффициент упругости λ_R и относительная деформация ε_R , соответствующие пределу кратковременной

призменной прочности бетона R , представлены в таблице №1. На рис. 4 представлены данные о начальном модуле упругости бетона.

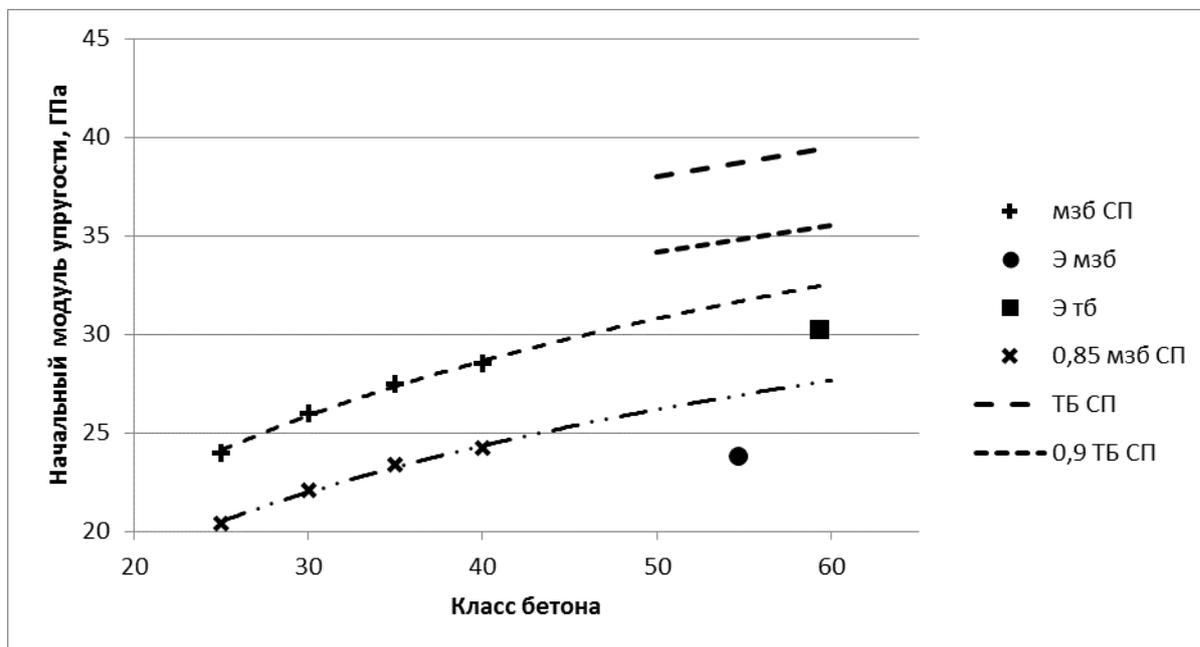


Рис. 4. – Зависимость начального модуля упругости бетона от класса бетона по прочности на сжатие

МЗБ, ТБ – мелкозернистый бетон, тяжелый бетон; СП – по СП 63.13330; Э – экспериментальные данные; 0,85 – с коэффициентом 0,85, учитывающим влияние СП на модуль упругости

Из рис. 4 очевидно, что начальный модуль упругости МЗБ несколько ниже, чем следует ожидать для бетона такой прочности, если экстраполировать нормируемые в СП 63.13330 значения в область более высоких значений прочности даже с учетом возможного снижения начального модуля упругости бетона на 15% в присутствии СП. Возможно, используемый в настоящих исследованиях СП вызывает более высокое снижение начального модуля упругости цементного камня. Возможность снижения модуля упругости бетонов с СП до 20 - 25% отмечалась в [7, 8]. Вопросу влияния СП, в т.ч. в сочетании с минеральными добавками

различной активности, на деформационные свойства бетонов посвящено много исследований, результаты которых не всегда согласуются [9-12].

Начальный модуль упругости бетона каркасной структуры оказался существенно ниже нормируемого в СП 63.13330 для тяжелого бетона значения, даже с учетом возможного влияния СП на величину модуля упругости бетона. Это связано с использованием в качестве крупного заполнителя кремнистого песчаника, который, в принципе, может иметь значительно меньшее значение модуля упругости (среднее значение 51 ГПа при изменении от 33 до 73 ГПа по [6]) в сравнении с гранитом (среднее значение 70 ГПа при изменении от 33 до 120 ГПа по [6]).

В таблице №2 представлены данные о соотношении расчетного значения модуля упругости, полученного с использованием модели Хирча (Hirsch) [6, 13],

$$E_c = \frac{2}{\frac{1}{E_{CA} \cdot V_{CA} + E_{MM} \cdot V_{MM}} + \frac{V_{CA}}{E_{CA}} + \frac{V_{MM}}{E_{MM}}} \quad (1)$$

где E_C , E_{CA} , E_{MM} – соответственно модуль упругости бетона, крупного заполнителя и растворной составляющей; V_{CA} , V_{MM} – относительная объемная концентрация крупного заполнителя и растворной составляющей; и измеренного модуля упругости бетона каркасной структуры.

Таблица №2

Соотношение расчетного и измеренного модулей упругости бетона
каркасной структуры

Параметры структуры бетона ¹			E ₀ , ГПа		Погрешность, %
V _{CA}	E _{CA}	E _{MM}	расчетный	измеренный	
0,56	44	23,8	33,50	32,5	3,1
	42		32,66		0,5
	40		31,79		-2,2
	38		30,90		-4,9

Примечание: $^1V_{CA}$ – объемная концентрация крупного заполнителя; E_{CA} – начальный модуль упругости крупного заполнителя; E_{MM} – начальный модуль упругости растворной составляющей

Очевидно, что начальный модуль упругости крупного заполнителя близок к величине 42 ГПа (как показано ранее, по данным [6], начальный модуль упругости песчаника может составлять от 33 ГПа до 73 ГПа).

На рис. 5 и рис. 6 представлены данные об изменении изменения объема бетона и скорости прохождения ультразвука при сквозном прозвучивании бетона в зависимости от уровня нагружения.

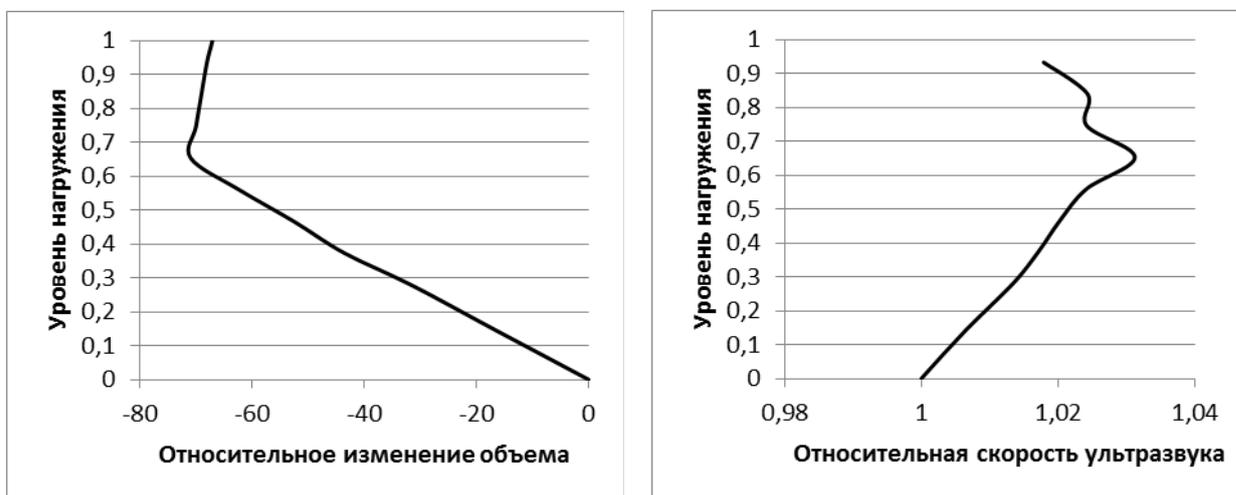


Рис. 5. – Зависимость изменения объема бетона и скорости ультразвука от уровня нагружения

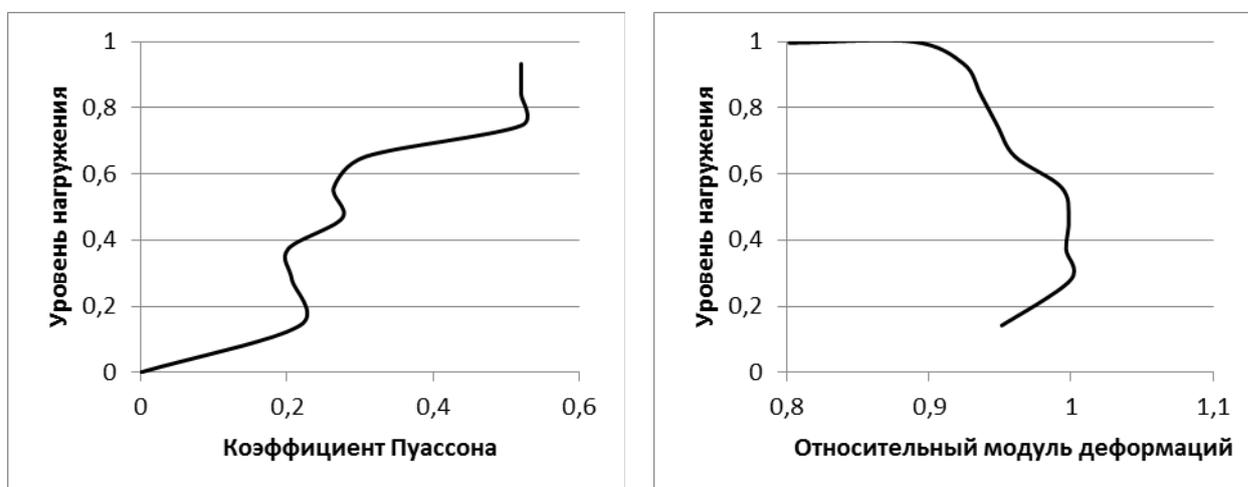


Рис. 6. – Зависимость коэффициента Пуассона и модуля деформаций от уровня нагружения

Из рис. 5 и рис. 6 следует, что у исследуемого бетона каркасной структуры нижняя граница микротрещинообразования по Бергу О.Я. [14] составляет примерно 0,65 от предела кратковременной прочности, поскольку до указанного уровня нагружения происходит уменьшение объема образца (уплотнение структуры), что сопровождается ростом скорости ультразвука (рис. 5). При этом до указанного уровня нагружения коэффициент Пуассона бетона и модуль его деформаций изменяются незначительно (рис. 6). Одной из возможных причин повышения уровня нижней границы микротрещинообразования является формирование более качественной контактной зоны «цементный камень – крупный заполнитель», что благоприятно влияет на повышение трещиностойкости структуры бетона [15-17].

Согласно [14], нижняя граница микротрещинообразования бетона составляет

$$R_{стр,0} = 0,35 \cdot \lg R - 0,5, \quad (2)$$

или для нашего случая 0,47, что значительно ниже измеренного значения, а верхняя граница микротрещинообразования

$$R_{стр,0} = 0,35 \cdot \lg R - 0,175, \quad (3)$$

или для нашего случая 0,8. Из рис. 5 видно, что после уровня нагружения примерно 0,83 отмечается резкое снижение скорости ультразвука, а из рис. 6 видно, что после уровня нагружения примерно 0,85 отмечается резкое снижение модуля деформаций бетона, что характерно для верхней границы микротрещинообразования [14].

Таким образом, бетон каркасной структуры характеризуется повышенной нижней границей микротрещинообразования, низкой величиной

неупругих деформаций, пониженным вследствие применения низко модульного крупного заполнителя и СП значением начального модуля упругости, что предопределяет целесообразность его применения для производства колонн с высоким коэффициентом армирования, поскольку будет обеспечено полное использование расчетного сопротивления сжатой арматуры.

Литература

1. Соломатов В.И., Тахиров М.К., Тахер Шах М.Д. Интенсивная технология бетонов / В.И. Соломатов, М.: Стройиздат, 1989. 264 с.
2. Соломатов В.И., Потапов Ю.Б. Прочность композиционных строительных материалов каркасной структуры // Изв. вузов: Строительство и архитектура. 1986. №7. С. 57-58.
3. Несветаев Г.В., Халезин С.В. О прочности бетона с каркасной структурой // Наукоедение, 2015, Том 7, № 3 URL: naukovedenie.ru/PDF/92TVN315.pdf.
4. Несветаев Г.В., Халезин С.В. Деформационные свойства бетонов с каркасной структурой // Наукоедение, 2015, Том 7, №4 URL: naukovedenie.ru/PDF/118TVN415.pdf/
5. Несветаев Г.В. Бетоны. Ростов-на-Дону: «Феникс», 2013. 381 с.
6. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси: Ползучесть. Ч.1: Справ. Под ред. П.Г. Комохова. С.-Пб: НПО «Профессионал», 2007. С. 310-322.
7. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Модуль упругости цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении // Бетон и железобетон. 2013. №6. С. 10-13.
8. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести // Строительные материалы. 2009. №6. С. 68-71.

9. Несветаев Г.В. Деформационные свойства бетонов классов В40 - В60 из высокоподвижных смесей на материалах Вьетнама / Г.В. Несветаев, Ву Ле Куен // Наукоедение, 2015, Том 7, №3 URL: naukovedenie.ru/PDF/78TVN315.pdf.

10. Yuvaraj L. Bhirud, Keshav K. Sangle. Comparison of Shrinkage, Creep and Elastic Shortening of VMA and Powder Type Self-Compacting Concrete and Normal Vibrated Concrete // OJCE. 2017. Vol. 7. № 1. pp. 26-30.

11. Marian Sabau, Traian Onet, Ana Ioana Petean. Hardened properties of self-compacting concrete / First International Conference for PhD students in Civil Engineering CE-PhD. DOI: 10.6084/M9.FIGSHARE.3483008.

12. Каприелов С.С., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кузнецов Е.Н. О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С // Бетон и железобетон. 2003. №6. С. 8-12.

13. 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. pp. 115-122.

14. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, М.: Стройиздат, 1971. 207 с.

15. Scrivener Karen L., Crumbie Alison K., Pratt P.L. A Study of the Interfacial Region between Cement Paste and Aggregate in Concrete // Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec.2 - 4, 1987. Pittsburgh (Pa), 1988. pp. 87-88.

16. Skalny J., Mindess S. Physico-chemical Phenomena at the Cement Paste. Aggregate Interface // 10th Int. Symp. React. Solids, Dijon, 27 Aug - 1 Sept. 1984. Dijon. 1984. pp. 223-224.

17. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / Уфа, ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. 376 с.

18. Несветаев Г.В., Нажуев М.П., Ву Ле Куен Изучение изменения состава бетонной смеси и кинетики прочности бетона при центрифугировании на примере опыта производства опор ЛЭП на предприятиях Социалистической Республики Вьетнам // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4861.

19. Несветаев Г.В., Та Ван Фан. Влияние белой сажи и метакаолина на прочность и деформационные свойства цементного камня // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 1) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1110.

References

1. Solomatov V.I. Intensivnaya tekhnologiya betonov [Intensive Concrete Technology]. V.I. Solomatov, M.K. Takhirov, Takher Shakh Md. M.: Stroyizdat, 1989. 264 p.

2. Solomatov V.I., Potapov Yu.B. Izv. vuzov: Stroitel'stvo i arkhitektura. 1986. №7. pp. 57-58.

3. Nesvetaev G.V., Khalezin S.V. Naukovedenie, 2015, Vol 7, №3 URL: naukovedenie.ru/PDF/92TVN315.pdf.

4. Nesvetaev G.V., Khalezin S.V. Naukovedenie, 2015, Vol 7, №4 URL: naukovedenie.ru/PDF/118TVN415.pdf.

5. Nesvetaev G.V. Betony [Concretes]. G.V. Nesvetaev. Rostov-on-Don: «Feniks», 2013. 381 p.

6. Cementy, betony, stroitel'nye rastvory i sukhie smesi: Polzuchest'. [Cements, concretes, mortars and dry mixtures: Creep.] Ch.1: Sprav. pod red. P.G. Komokhova. S.- Pb.: NPO «Professional», 2007. pp. 310-322.

7. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Beton i zhelezobeton. 2013. №6. pp. 10-13.

8. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Stroitel'nye materialy. 2009. №6. pp. 68-71.
 9. Nesvetaev G.V., Kuen Vu Le Naukovedenie, 2015, Vol. 7, №3 URL: naukovedenie.ru/PDF/78TVN315.pdf.
 10. Yuvaraj L. Bhirud, Keshav K. Sangle. OJCE. Vol. 7. №1. pp. 26-30.
 11. Marian Sabau, Traian Onet, Ana Ioana Petean. First International Conference for PhD students in Civil Engineering CE-PhD. DOI: 10.6084/M9.FIGSHARE.3483008.
 12. Kaprielov S.S. Karpenko N.I., Shejnfel'd A.V., Kuznetszov E.N. Beton i zhelezobeton. 2003. №6. pp. 8-12.
 13. Nesvetaev G.V., Airapetov G.A. Festschrift zum 65. Geburtstag von prof. Dr.-Ing F.S. Rostasy. Braunschweig, 1997. Heft 128. pp. 115-122.
 14. Berg O.Ya., Shherbakov E.N., Pisanko G.N. Vysokoprochnyy beton [High strength concrete]. M.: Stroyizdat, 1971. 207 p.
 15. Scrivener Karen L., Crumbie Alison K., Pratt P.L. Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec.2-4, 1987. Pittsburgh (Pa), 1988. pp. 87-88.
 16. Skalny J., Mindess S. 10th Int. Symp. React. Solids, Dijon, 27 Aug-1 Sept., 1984. Dijon, 1984. pp. 223-224.
 17. Babkov V.V., Mokhov V.N., Kapitonov S.M., Komokhov P.G. Strukturoobrazovanie i razrushenie cementnykh betonov [Structure formation and destruction of cement concretes]. Ufa, GUP «Ufimskij poligrafkombinat», 2002. 376 p.
 18. Nesvetaev G.V., Nazhuev M.P., Vu Le Kuen Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4861.
 19. Nesvetaev G.V., Ta Van Fan Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4 (Part 1) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1110.
-

