

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

Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/06TVN216.pdf>

DOI: 10.15862/06TVN216 (<http://dx.doi.org/10.15862/06TVN216>)

Статья опубликована 28.03.2016.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Несветаев Г.В., Беляев А.В. Деформационные свойства самоуплотняющегося керамзитобетона // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/06TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/06TVN216

**УДК 691.32**

**Несветаев Григорий Васильевич**

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

**Беляев Алексей Вячеславович**

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»  
Россия, г. Москва  
Старший преподаватель  
E-mail: 89150323232@mail.ru

**Деформационные свойства самоуплотняющегося  
керамзитобетона**

**Аннотация.** Снижение массы конструкций зданий является актуальной задачей. Легкобетонные перекрытия часто не обеспечивают необходимую жесткость. Слоистые железобетонные перекрытия, состоящие из легкого и тяжелого бетона в сжатой зоне, обеспечивающего требуемую жесткость перекрытий, обладают пониженной до 30% массой в сравнении с традиционными перекрытиями из тяжелого бетона. Для устройства монолитных слоистых перекрытий разработаны составы самоуплотняющегося керамзитобетона классов В12,5 – В20 с маркой по средней плотности D1400. При изготовлении бетонов использованы суперпластификаторы Sika, керамзит фракции 0,63 – 20 мм, воздухововлекающая добавка Sika. Получены зависимости параметров диаграммы «напряжения-деформации» при центральном осевом сжатии самоуплотняющихся керамзитобетонов от прочности. При изменении значений цилиндровой (призмной) прочности бетонов от 11 до 20,2 МПа начальный модуль упругости изменяется от 9,3 до 12 ГПа, предельная сжимаемость от 0,0019 до 0,0029. Коэффициент упругости при напряжениях до 0,8 от предела прочности составляет от 0,84 до 0,95. Получена зависимость коэффициента упругости от уровня напряжения, свидетельствующая о торможении процесса микротрещинообразования вплоть до уровня нагружения 0,8 от предела прочности.

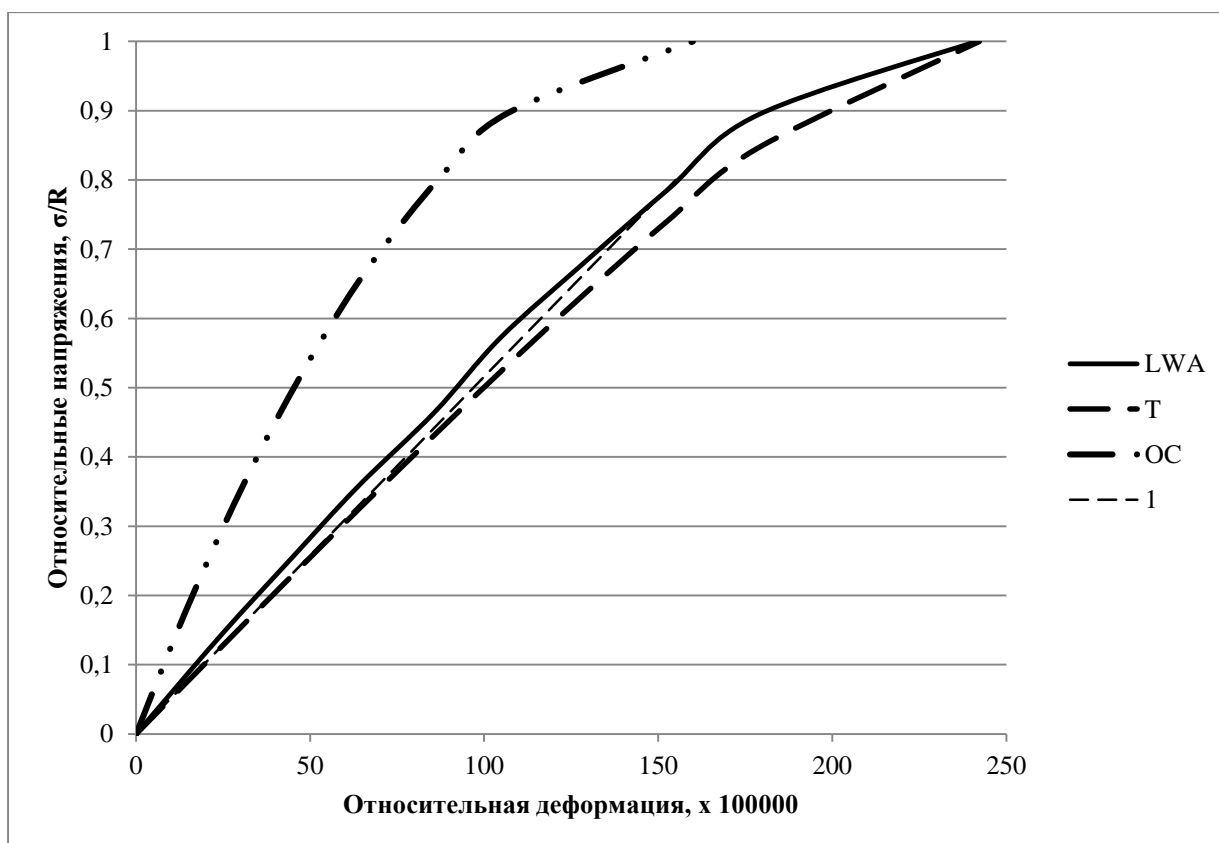
**Ключевые слова:** легкий бетон; керамзитобетон; самоуплотняющийся бетон; суперпластификатор; диаграмма деформирования; модуль упругости; коэффициент упругости; относительная деформация

---

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

Проблема снижения массы зданий не теряет актуальности [1-7]. Широкое применение железобетона при строительстве зданий предопределяет целесообразность использования легкобетонных конструкций, в частности, для устройства железобетонных перекрытий [1, 4-6, 7]. Однако вследствие низкого значения начального модуля упругости легких бетонов в этом случае появляется проблема обеспечения жесткости перекрытий. При реализации слоистых конструкций перекрытий, включающих слой тяжелого бетона для обеспечения жесткости и легкого бетона для снижения массы [8], появляется возможность создания эффективных перекрытий с пониженной массой. Для применения в слоистых железобетонных перекрытиях разработаны составы высокоподвижных и самоуплотняющихся керамзитобетонных смесей с диаметром распыла конуса от 38 (О.К. = 22 см) до 67 см (далее – LWA бетон, О.К. > 26 см), с различной гранулометрией заполнителей. Составы изготавливались на двух цементах: ЦЕМ I 42,5 и ЦЕМ II 42,5, далее Ц1 и Ц2, различающихся нормальной плотностью, соответственно 24,5 и 28,5%. Применялся суперпластификатор Sika Visco Crete 5-600. В составах на цементе Ц1 использовалась воздухововлекающая добавка Sika Aer 200 S. Расход цемента в составах составлял от 417 до 515 кг/м<sup>3</sup>, класс бетона В12,5 – В 20, марка бетона по средней плотности D1400. Проектирование макроструктуры бетона выполнялось по рекомендациям [9] с учетом специфики пористых заполнителей.

На рис. 1 представлены диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » при кратковременном центральном осевом сжатии в сравнении со среднестатистической диаграммой равнопрочного тяжелого бетона состава С-Ц1, LWA, который не уступает по прочности среднестатистическим данным [10, 11] для керамзитобетонов, полученных из смесей с маркой по удобоукладываемости П2, П3.



**Рисунок 1.** Диаграмма «напряжение – деформации» при кратковременном центральном осевом сжатии

LWA – самоуплотняющийся керамзитобетон  $R_{pr} = 20,2$  МПа;  $\rho = 1340$  кг/м<sup>3</sup>, экспериментальные данные; Т – то же, по формуле Саржина (Sargin) [12]; ОС – тяжелый бетон  $R_{pr} = 20,2$ , по формуле Саржина;  $1 - \varepsilon = 0,8 \cdot \frac{R_{pr}}{E_0}$

Из представленных на рис. 1 данных очевидно, что LWA бетон до уровня нагружения 0,8 характеризуется практически линейной зависимостью «напряжения – деформации».

На рис. 2 представлены данные о начальном модуле упругости самоуплотняющегося керамзитобетона с маркой по средней плотности D 1400.

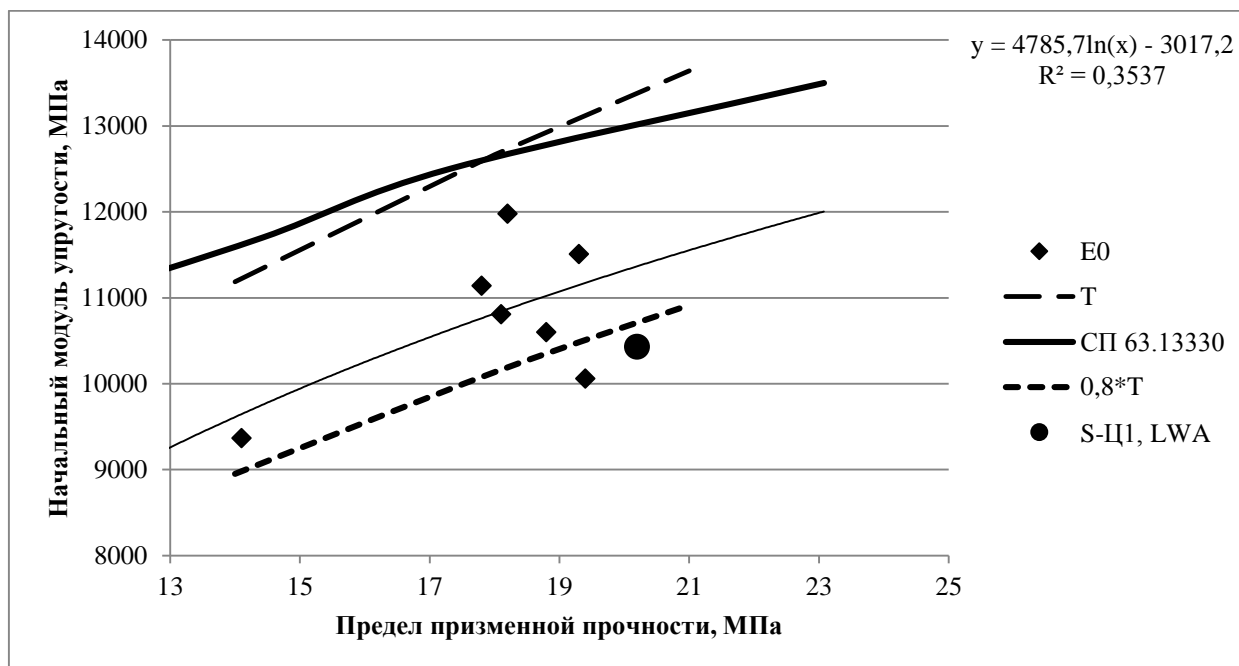


Рисунок 2. Зависимость начального модуля упругости бетона от призменной прочности

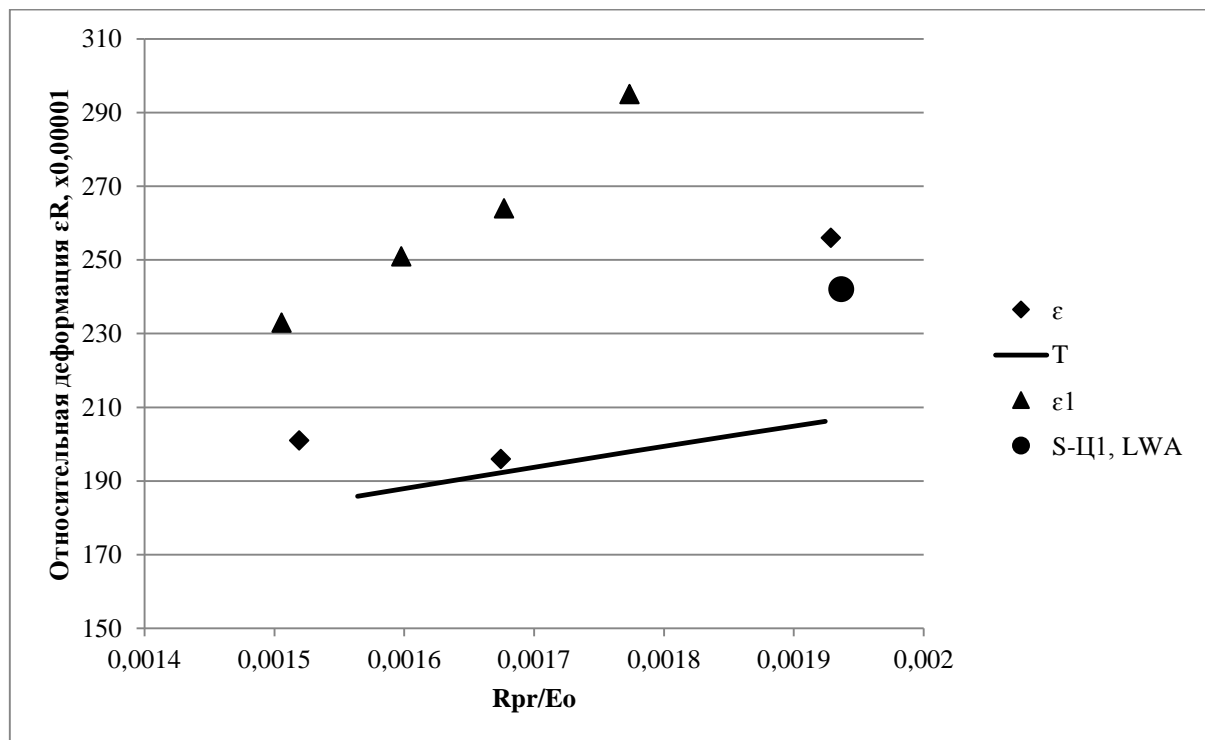
$$T - E_0 = 1000 \cdot \frac{0,05 \cdot R_{pr} + 57}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}} \cdot \left(\frac{\rho}{2,4}\right)^{1,25} [10, 13]$$

Из представленных на рис. 2 данных следует, что начальный модуль упругости исследованных LWA бетонов несколько ниже, чем по СП 63.13330 и по зависимости

$$E_0 = 1000 \cdot \frac{0,05 \cdot R_{pr} + 57}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}} \cdot \left(\frac{\rho}{2,4}\right)^{1,25}. \quad (1)$$

Поскольку и нормы СП 63.13330, и ф.(1) основаны на результатах, полученных при испытаниях бетонов на пористых заполнителях из умеренно-подвижных и жестких смесей, т.е. бетонов с более высокой концентрацией крупного пористого заполнителя, чем это имеет место в самоуплотняющихся бетонных смесях, снижение начального модуля упругости при более высокой концентрации более высокомодульной растворной составляющей в составе бетона выглядит, на первый взгляд, нелогично. Но, во-первых, в исследованных составах LWA бетонов использован пористый заполнитель с низкой плотностью и прочностью, не характерной для соответствующих прочностей бетона, что предопределяет некоторое снижение модуля упругости бетона. Во-вторых, в составах использована воздухововлекающая добавка, т.е., фактически, растворная составляющая бетонов поризована и, сл-но, обладает меньшим модулем упругости, поскольку увеличение пористости за счет вовлеченного воздуха снижает модуль упругости [14]. В третьих, исследованные составы получены с применением суперпластификатора на основе эфиров поликарбоксилатов, что в принципе может сопровождаться некоторым понижением модуля упругости бетона [15].

На рис. 3 представлены данные о величине относительной деформации  $\epsilon_R$ , соответствующей пределу кратковременной прочности  $R_{pr}$  самоуплотняющегося керамзитобетона с маркой по средней плотности D 1400.

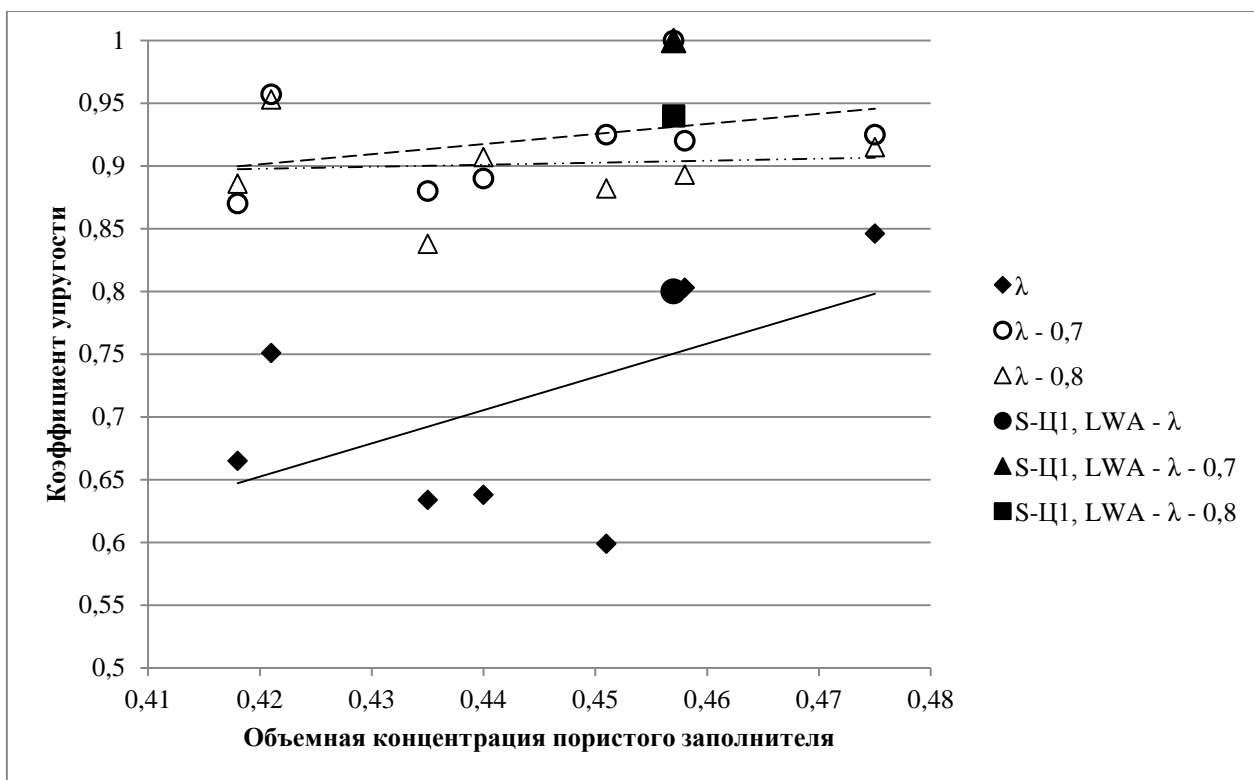


**Рисунок 3.** зависимость величины  $\epsilon_R$  от соотношения  $R_{pr}/E_0$

$$T - \epsilon_R = 0,047 \cdot \left(\frac{R_{pr}}{E_0}\right)^{0,5} [10, 13]$$

Очевидно, что величина  $\epsilon_R$  LWA бетонов, как правило, превышает значение  $200 \cdot 10^{-5}$ , что свидетельствует о возможности полного использования расчетного сопротивления арматуры при работе этих бетонов в сжатой зоне сечений [16].

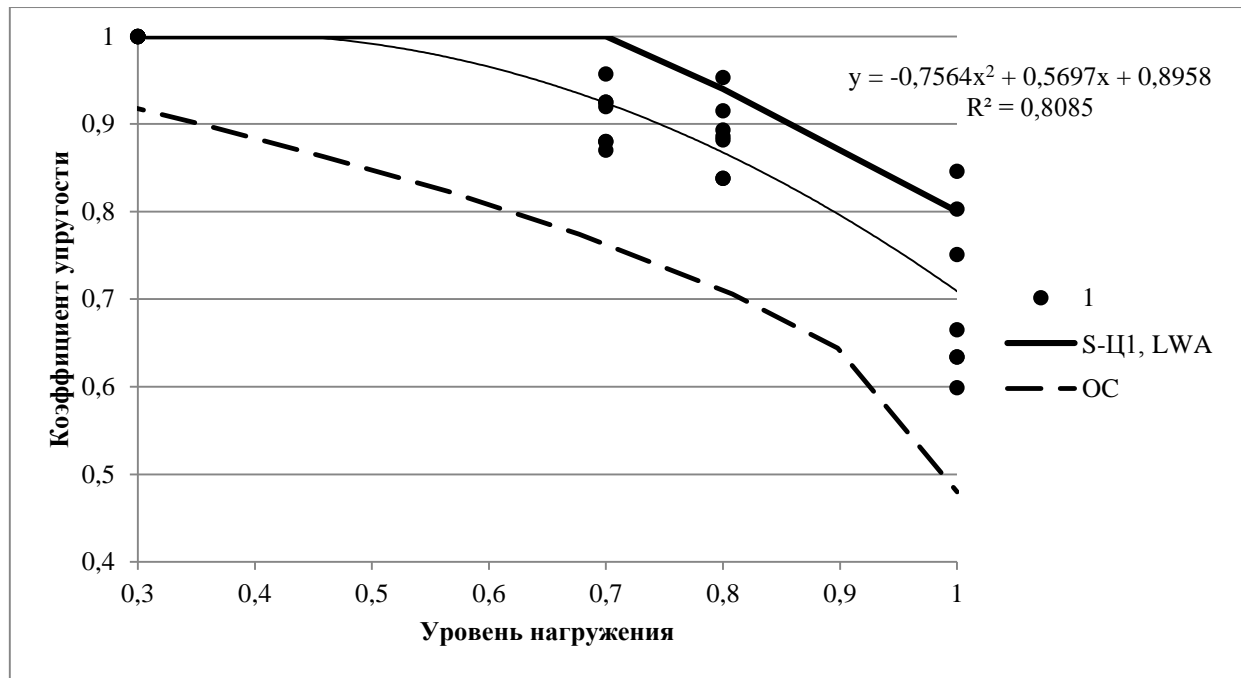
На рис. 4 представлена зависимость коэффициента упругости при уровне нагружения, соответствующего пределу кратковременной прочности, и при уровнях нагружения 0,7 и 0,8 самоуплотняющегося керамзитобетона с маркой по средней плотности D 1400 от концентрации пористого заполнителя.



**Рисунок 4.** Зависимость коэффициента упругости бетона  $\lambda$  при  $\sigma = R_{pr}$  и  $\sigma = 0,7 \cdot R_{pr}$  (с индексом 0,7) и  $\sigma = 0,8 \cdot R_{pr}$  (с индексом 0,8) от соотношения  $R_{pr}/E_0$

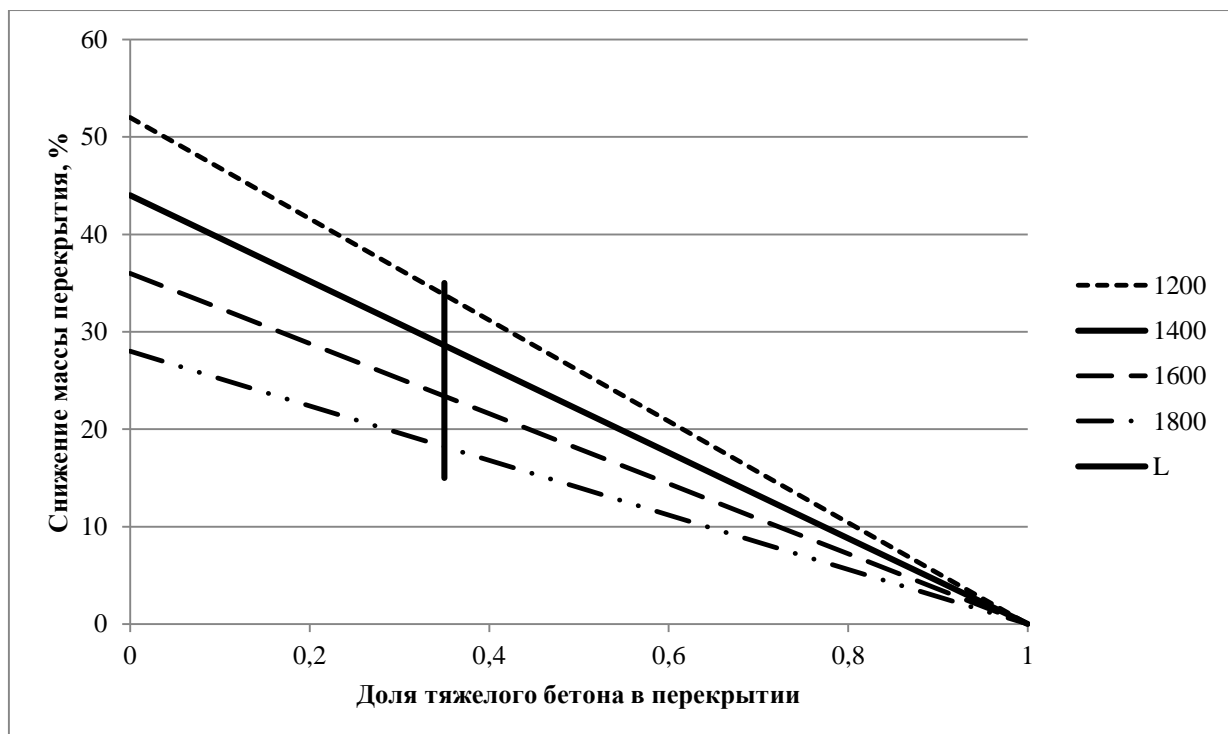
Из представленных на рис. 4 данных очевидно, что коэффициент упругости LWA бетонов при уровне нагружения 0,7 и 0,8 мало зависит от объемной концентрации пористого заполнителя и превышает значение 0,85, а у состава S-Ц1,LWA превышает значение 0,94, что свидетельствует о незначительной величине неупругих деформаций вплоть до указанных уровней нагружения, т.е., как уже отмечалось, о практически упругой работе LWA бетона. Как известно, такие бетоны хорошо работают при циклических нагрузках [10, 13, 17].

Поскольку неупругие деформации при кратковременном нагружении в основном обусловлены микротрещинообразованием, в первую очередь в контактной зоне «растворная составляющая – крупный заполнитель» [17], незначительное развитие неупругих деформаций свидетельствует о слабом развитии процесса микротрещинообразования, что в принципе характерно для бетонов на пористых заполнителях вследствие особенностей свойств контактной зоны «пористый заполнитель – цементный камень». Резкое снижение коэффициента упругости, т.е. интенсивное развитие процесса микротрещинообразования, отмечается у некоторых составов LWA бетонов при уровне нагружении выше 0,8. Следует отметить, что у состава S-Ц1,LWA и при уровне нагружения  $\sigma/R_{pr} = 1$  значение коэффициента упругости составляет 0,8, что свидетельствует о торможении процесса микротрещинообразования вплоть до разрушения. Это выгодно отличает LWA бетоны от равнопрочного тяжелого бетона (рис. 5).



**Рисунок 5.** Зависимость коэффициента упругости бетонов от уровня нагружения  
1 – LWA бетоны, кроме состава S-Ц1, LWA; OC – тяжелый бетон с пределом цилиндровой (призменной) прочности 20,2 МПа

Разработанный самоуплотняющийся керамзитобетон класса по прочности на сжатие В15 с маркой по средней плотности D1400 позволит снизить массу железобетонных слоистых перекрытий до 30% (рис. 6).



**Рисунок 6.** Снижение массы перекрытия толщиной 200 мм в зависимости от марки легкого бетона по средней плотности и соотношения объемов легкого и тяжелого бетонов в конструкции перекрытия L – толщина слоя тяжелого бетона в перекрытии 70 мм

### Выводы:

1. Разработаны составы самоуплотняющегося керамзитобетона класса В12,5 – В20 с маркой по средней плотности D1400 с расходом цемента, не превышающим среднестатистические значения для бетонов, полученных из смесей П2, П3.
2. Изучена закономерность деформирования бетона при кратковременном осевом сжатии, получена диаграмма «напряжения – деформации» и зависимости нормируемых деформационных показателей, позволяющие вести расчет конструкций с использованием диаграмм деформирования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Стронгин, Н.С. Легкобетонные конструкции крупнопанельных жилых домов / Н.С. Стронгин, Д.К. Баулин. - М.: Стройиздат, 1984. – 185 с.
2. Горин, В.М. Перспективы применения керамзитобетона на современном этапе жилищного строительства / В.М. Горин, С.А. Токарева, М.К. Кабанова, А.М. Кривопапов, Ю.С. Вытчиков // Строительные материалы. 2004. №12. С. 22-23.
3. Горин, В.М. Применение керамзитобетона в строительстве – путь к энерго- и ресурсоэффективности, безопасности зданий и сооружений// Строительные материалы. 2010. №8. С. 8-10.
4. Орендлихер, Л.П. XXI век – век легких бетонов // Актуальные проблемы современного строительства: Материалы Всероссийской 31-й научно-технической конференции, Пенза, 25-27 апреля, 2001, ч.4. Строительные материалы и изделия – Пенза: изд-во ПГАСА, 2001. - С. 76-77.
5. Петров, В.П. У пористых заполнителей есть будущее! // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2006. - №2. - С. 40-42.
6. Давидюк, А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. – М.: Красная звезда, 2008. – 208 с.
7. Давидюк, А.Н. Эффективные бетоны для современного высотного строительства / А.Н. Давидюк, Г.В. Несветаев. - М.: Издательство ООО «НИПКЦ Восход-А», 2010. – 148 с.
8. Маилян, Д.Р. Расчет двухслойных предварительно напряженных железобетонных панелей // Вестник Майкопского государственного технического университета. – 2011. - №4.
9. Несветаев, Г.В. Проектирование макроструктуры самоуплотняющейся бетонной смеси и ее растворной составляющей / Г.В. Несветаев, Ю.Ю. Лопатина // Наукovedение. Том 7, №5, (2015): <http://naukovedenie.ru/PDF/48TVN515.pdf>.
10. Несветаев, Г.В. Бетоны: учебно-справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 381 с.
11. Васильков, С.Г. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе: Справочное пособие / С.Г. Васильков, С.П. Онацкий, М.П. Элинзон. - М.: Стройиздат, 1987. – 304 с.
12. Маилян, Д.Р. Сжатые керамзитобетонные элементы различной гибкости / Д.Р. Маилян, А.В. Шилов. – Ростов-на-Дону: РГСУ. – 2001.

13. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси. Ч.1: Справ. Под ред. П.Г. Комохова. – С.-Пб.: НПО «Профессионал», 2007. – 804 с.
14. Несветаев Г.В Модуль упругости цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении / Г.В. Несветаев, Г.С. Кардунян // Бетон и железобетон 2013. - №6. – С. 10-13.
15. Несветаев, Г.В. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк // Строительные материалы. – 2009. - № 6 – С. 68 – 71.
16. Маилян, Д.Р. Зависимость предельной деформативности бетона от армирования и эксцентриситета сжимающего усилия // Бетон и железобетон. – 1989. - №9.
17. Берг, О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 208 с.



**Nesvetaev Grigoriy Vasil'evich**

Rostov State University of Civil Engineering, Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: nesgrin@yandex.ru

**Belyaev Aleksey Vyacheslavovich**

Moscow State University of Civil Engineering, Russia, Moscow  
E-mail: 89150323232@mail.ru

## **Deformation properties of self compacting expanded clay aggregate concrete**

**Abstract.** Reducing weight of reinforced concrete structures of the is a very important problem. Lightweight aggregate concrete slab often do not provide the necessary stiffness. Layered slabs, consisting of lightweight aggregate and ordinary concrete in the compression zone, which provides the required stiffness of slabs, allow to reduce up to 30% weight of slabs in comparison with traditional ordinary concrete slabs. For the monolithic reinforced concrete slabs the lightweight aggregate concrete classes LC12/13 – LC 20/22, LC 1,4 were designed. To produce concrete superplasticizers Sika, expanded clay lightweight aggregate 0.63 - 20 mm, the air-entraining admixture Sika were used. The dependence of the parameters of the "stress-strain" diagram under the central axial compressive strength for self-compacting lightweight aggregate concrete were determined. During change the cylinder (prism) concrete strength from 11 MPa up to 20.2 MPa E-modulus increases from 9.3 to 12 GPa, the compressibility limit changes in range 0.0019 to 0.0029. The stiffness coefficient changes in range 0,84 to 0,95 under the value 0,8of compressive strength. The dependence of the stiffness coefficient of the compressive strength level shows the decreasing of micro cracking process up to the level of loading 0,8 of the compressive strength.

**Keywords:** lightweight aggregate concrete; expanded clay aggregate concrete; self-compacting concrete; superplasticizer; stress-strain diagram; E-modulus; stiffness coefficient; relative deformation

## REFERENCES

1. Strongin, N.S. Concrete constructions of large panel buildings / N.S. Strongin, D.C. Baulin. - M.: Stroyizdat, 1984. – 185 p.
2. Gorin, V.M. Perspectives of expanded clay on the modern stage housing / V.M. Gorin, V.S. Tokarev, M.K. Kabanov A.M. Krivopalov, Y.S. Vytchikov // Building materials. - 2004. - №12. - p. 22-23.
3. Gorin, V.M. Application of expanded clay in construction - the path to energy and resource efficiency, security of buildings and constructions // Building materials. 2010. №8. p. 8-10.
4. Orentlikher, L.P. XXI century - the century of light concrete // Actual problems of modern construction: Proceedings of the 31st Scientific Conference, Penza, April 25-27, 2001, p.4. Building materials and products - Penza: PGASA, 2001. - p. 76-77.
5. Petrov, V.P. Lightweight aggregates have a future! // Building materials, equipment, technologies of XXI century. 2006. №2. p. 40-42.
6. Davidyuk, A.N. Lightweight construction-insulating concrete made with vitreous lightweight aggregates. - M.: Red Star, 2008. – 208 p.
7. Davidyuk, A.N. Effective concrete for modern high-rise building / A.N. Davidyuk, G.V. Nesvetaev. - M.: Publishing LLC "NIPKTS Sunrise A", 2010. – 148 p.
8. Mailyan, D.R. Calculation of two-layer prestressed concrete panels // Bulletin of the Maikop State Technical University. - 2011. - №4.
9. Nesvetaev, G.V. Design macrostructure self-compacting concrete and its mortar component / G.V. Nesvetaev, Yu.Yu. Lopatina // Naukovedenie. Volume 7, №5, (2015): <http://naukovedenie.ru/PDF/48TVN515.pdf>.
10. Nesvetaev, G.V. Concrete: teaching handbook. 2nd ed., Revised and added. Rostov-on-Don: Phoenix, 2013. – 381 p.
11. Vasilkov, S.G. Artificial lightweight aggregates and lightweight concrete on their basis: Reference book / S.G. Cornflower, S.P. Onatsky, M.P. Elinzon. - M.: Stroyizdat, 1987. – 304 p.
12. Mailyan, D.R. Compressed expanded clay fibro concrete elements of varying flexibility / D.R. Mailyan, A.V. Shilov. - Rostov-on-Don, Russian State Building University. - 2001.
13. Cement, concrete, mortars and dry mixes. Part 1: Handbook. Ed. P.G. Komohov. - S.-Pb.: NGO "Professional", 2007. – 804 p.
14. Nesvetaev, G.V. E-modulus of cement paste with superplasticizers and organic modifiers in view of its own strain hardening / G.V. Nesvetaev, G.S. Kardumyan // Concrete and reinforced concrete 2013. - №6. - p. 10-13.
15. Nesvetaev, G.V. SCC: E-modulus and creep coefficient / G.V. Nesvetaev, A.N. Davidyuk // Building materials. - 2009. - № 6 – p. 68 - 71.
16. Mailyan, D.R. The dependence of the limiting deformability of concrete reinforcement and eccentric compressive force // Concrete and reinforced concrete. - 1989. - №9.
17. Berg, O.Ya., High-strength concrete / O.YA. Berg, E.N. Shcherbakov, G.N. Pisanko. - M.: Stroyizdat, 1971. – 208 p.