

**Бычков Михаил Владимирович**  
Bychkov Mikhail Vladimirovich  
Кубанский государственный технологический университет  
Kuban State Technological University  
Аспирант каф. ПСКиСМ  
Postgraduate student of chair of production of production designs and construction mechanics  
E-Mail: Prozapas1987@mail.ru

**Удодов Сергей Алексеевич**  
Udodov Sergey Alekseevich  
Кубанский государственный технологический университет  
Kuban State Technological University  
Доцент каф. ПСКиСМ  
Docent of chair of production of production designs and construction mechanics  
scientist  
E-Mail: Udodov-tec@mail.u

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

## **Легкий самоуплотняющийся бетон как эффективный конструкционный материал**

### **Light self compacting concrete as an effective constructional material**

**Аннотация:** Материалы данной статьи посвящены легкому самоуплотняющемуся бетону – материалу, сочетающему в себе положительные качества легких бетонов на пористых заполнителях и тяжелых СУБов. Рассмотрены критерии отбора сырьевых компонентов, приведены характеристики как свежеприготовленного материала, так и затвердевшего бетона. Подробно сравниваются прочностные и деформационные характеристики легкого самоуплотняющегося бетона и легкого бетона сходных плотностей. Сделан вывод о возможности получения легкого самоуплотняющегося бетона марки по плотности D1800 в широком диапазоне прочностей и его эффективности.

**The Abstract:** Materials of this article are devoted to light self compacting concrete – a material combining merits of light concrete on porous fillers and heavy SCC. Selection criteria of input products are considered, characteristics both a fresh material, and the hardened concrete are provided. Strength and deformation characteristics of light self compacting concrete and light concrete of similar density are in detail compared. The conclusion is drawn on possibility of receiving light self compacting concrete of brand on D1800 density in the wide range of durabilities and its efficiency.

**Ключевые слова:** Легкий самоуплотняющийся бетон, прочность, плотность, деформативные характеристики.

**Keywords:** Light self compacting concrete, durability, density, characteristic of deformation.

\*\*\*

Почти четверть века назад в технологии бетона сформировалось новое направление – *самоуплотняющиеся бетоны (далее СУБ)*. Основоположником этого направления в технологии бетона считается японский профессор Окамура [7]. Появление его связано с

естественным стремлением строителей снизить трудозатраты при бетонировании конструкций. Технически возможность получать бетонные смеси, не требующие принудительного уплотнения при укладке без потери в качестве, реализовалась во многом благодаря применению добавок на основе эфиров поликарбоксилатов. Кроме применения особого вида пластификаторов технология СУБ имеет ряд других особенностей, касающихся методик подбора составов, специфики испытаний реологических свойств смесей, особенностей приготовления, транспортировки, укладки и др. Так, например, изучение одной лишь реологии СУБ заставляет вырабатывать новые подходы к описанию процессов, происходящих при течении и уплотнении такой бетонной смеси [5, 8].

Несмотря на достаточно высокую себестоимость СУБ (примерно в 1,5 раза выше, чем стоимость равнопрочного обычного бетона), все чаще и зарубежные, и российские производители отмечают наличие комплексного экономического эффекта при применении данной технологии [1, 3]. Тем не менее, российский строитель с осторожностью относится к данной технологии. Недостаточная изученность этого материала в России проявляется уже на стадии проектирования несущих конструкций из СУБ. Если определенные сведения о прочностных характеристиках СУБ в отечественной науке и практике уже накоплены, то, например, всеобъемлющих и статистически обоснованных данных о деформационных свойствах затвердевшего СУБ все еще недостаточно. Вопросами технологии и свойств СУБ в России занимаются такие ученые и исследователи, как В.И. Калашников, Г.В. Несветаев, С.Г. Головнев, М.И. Ваучский и др.

Еще менее изучена технология легких самоуплотняющихся бетонов (далее ЛСУБ), являющаяся предметом исследования авторов. Как известно, легкие бетоны на пористых заполнителях имеют ряд преимуществ перед тяжелым бетоном, особенно в части снижения веса железобетонных конструкций и сокращения общей нагрузки на фундаменты и основания. Имеется опыт разработки и применения высокопрочных легких бетонов с классом по прочности при сжатии до В115 [2]. В нашем исследовании поставлена задача объединения положительных качеств легкого бетона с уникальными реологическими свойствами самоуплотняющихся смесей.

На этапе получения экспериментальных смесей ЛСУБ установлено, что простая замена крупного тяжелого заполнителя на легкий пористый приводит к реологической нестабильности смеси и дальнейшему расслоению. Была изучена реологическая стабильность СУБ на различных по плотности заполнителях. В результате была установлена закономерность склонности ЛСУБ к расслоению от соотношения  $\rho_{з.д.}/\rho_{р-ра}$ , где  $\rho_{з.д.}$  – средняя плотность зерна заполнителя «в деле» (с учетом насыщения водой и дисперсными частицами в смеси),  $\rho_{р-ра}$  – средняя плотность растворной части. Чем больше это соотношение отлочно от 1, тем менее стабильна самоуплотняющаяся бетонная смесь, причем закономерность справедлива как для пористых, так и для плотных заполнителей. В соответствии с полученными зависимостями для разработки и исследования ЛСУБ был выбран заполнитель из вулканического туфа Каменского месторождения Республики Кабардино-Балкарии. Базовые составы и некоторые свойства ЛСУБ приведены в таблице №1.

**Таблица 1**

**Составы, свойства смесей и затвердевшего бетона**

Компонент / показатель	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>				
	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4	Состав 5
ПЦ М500 «Новоросцемент»	200	300	400	500	600
Д0					
ОАО					

Минеральный порошок МП-1	220	110	-	-	-
Микрокремнезем	20	30	40	50	60
Туфовый песок (0-5 мм)	910	910	910	800	690
Туфовый щебень (5-10 мм)	214	214	214	214	214
Sika Viscocrete 32SCC (жидкая)	8	8	8	10	12
Вода	358	358	360	360	360
	Свойства бетонной смеси				
В/Ц	1,79	1,19	0,9	0,72	0,6
Диаметр расплыва конуса, см	85	87	89	93	97
	Свойства затвердевшего бетона (28 суток)				
Прочность при сжатии, МПа	24,04	31,14	41,83	45,58	57,64
Класс по прочности при коэфф. вариации $v=18\%$	B15	B20	B25	B30	B40
Ср. плотность, $\text{кг/м}^3$	1745	1764	1781	1789	1793
Отношение $R_{сж}/\rho_{сух}$ , МПа/( $\text{кг/дм}^3$ )	13,78	17,65	23,49	25,48	32,15

Как следует из данных таблицы №1, были изготовлены пять составов с различным содержанием цемента от 200 до 600  $\text{кг/м}^3$ . Плотность затвердевшего бетона в сухом состоянии варьировалась в пределах от 1745 до 1793  $\text{кг/м}^3$ . В соответствии с российскими (ГОСТ 25820) и европейскими (EN 206) нормативными документами полученные бетоны относятся к легким бетонам (плотность менее 2000  $\text{кг/м}^3$ ). При этом, по Ю.М. Баженову, легкие бетоны можно отнести к высокопрочным, если отношение прочности при сжатии бетона (МПа) к его плотности ( $\text{кг/дм}^3$ ) больше 25. Зависимость этого отношения от расхода цемента в условиях эксперимента приведены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Зависимость отношения прочности при сжатии ЛСУБ (МПа) к его плотности ( $\text{кг/дм}^3$ )

Можно сделать вывод, что при расходе цемента 480  $\text{кг/м}^3$  и более получаемые ЛСУБ можно отнести к высокопрочным. Для дальнейшего углубленного изучения прочностных и деформационных характеристик бетона были взяты составы с расходом цемента 300, 400 и 600  $\text{кг/м}^3$ . Прочностные и деформационные характеристики (кроме полной усадки) бетонов в возрасте 28 суток естественного твердения приведены в таблице №2. Полная линейная усадка определялась на образцах-призмах 100x100x400 мм в течение 130 дней. За начальную точку отсчета принимался линейный размер образцов в возрасте 7 суток. Образцы хранились

естественных условиях.

**Таблица 2**

**Прочностные и деформационные характеристики ЛСУБ в возрасте 28 суток  
естественного твердения**

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа		Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Прочность на растяжение при раскалывании, МПа	Модуль упругости, $E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа	Коэффициент Пуассона	Линейная усадка, мм/м
	Кубиковая	Призменная					
300	31,14	30,7	3,4	1,52	15,67	0,148	1,51
400	41,83	34,67	4,65	2,10	17,30	0,150	1,68
600	57,64	52,0	4,97	2,27	23,37	0,128	0,86

Модуль упругости бетона является важной деформационной характеристикой, помогающей оценить работу бетона под нагрузкой. В настоящий момент в отечественной литературе практически нет данных об этой характеристике в разрезе самоуплотняющихся и, тем более, легких самоуплотняющихся бетонов. В силу исторически сложившихся условий развития СУБ некоторые исследования по данной тематике можно найти в работах зарубежных исследований [4, 6]. В условиях нашего эксперимента модуль упругости определялся в соответствии с методикой ГОСТ 24452. Полученные значения модуля упругости для ЛСУБ в сравнении с другими значениями для тяжелых и легких бетонов по данным нормативной и технической литературы приведены в таблице №3.

**Таблица 3**

**Значения модуля упругости некоторых видов бетона  
при различных классах по прочности**

Вид бетона	Модуль упругости, $E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа, при классах бетона по прочности при сжатии						
	B15	B20	B25	B30	B35	B40	Выше B40
Обычный тяжелый бетон <sup>1</sup>	24,0	27,5	30,0	32,5	34,5	37,0	-
Обычный легкий бетон <sup>1</sup> , D1800	15,5	17,0	18,5	19,5	20,5	21,0	-
ЛСУБ <sup>2</sup> , D1800	-	15,7	17,3	-	-	23,4	-
Высокопрочный ЛСУБ <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	От 24 до 33

<sup>1</sup> – по данным СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003;

<sup>2</sup> – по данным авторов;

<sup>3</sup> – по данным источника [4].

Как следует из таблицы №3, полученные авторами значения модуля упругости ЛСУБ в целом соответствуют уровню нормативных значений для обычного легкого бетона. При этом в области бетонов ниже B30 значения  $E_b$  для ЛСУБ отличаются в меньшую сторону, а в области высокопрочных легких бетонов – в большую сторону от нормативных. Можно также предположить, что дальнейшая экстраполяция значений  $E_b$  разработанного ЛСУБ в область более прочных бетонов класса B40 и выше даст сходные значения с полученными зарубежными исследователями.

На рисунках 2 и 3 представлены полные диаграммы нагружения образцов-призм при определении модуля упругости ЛСУБ.

Продольные деформации

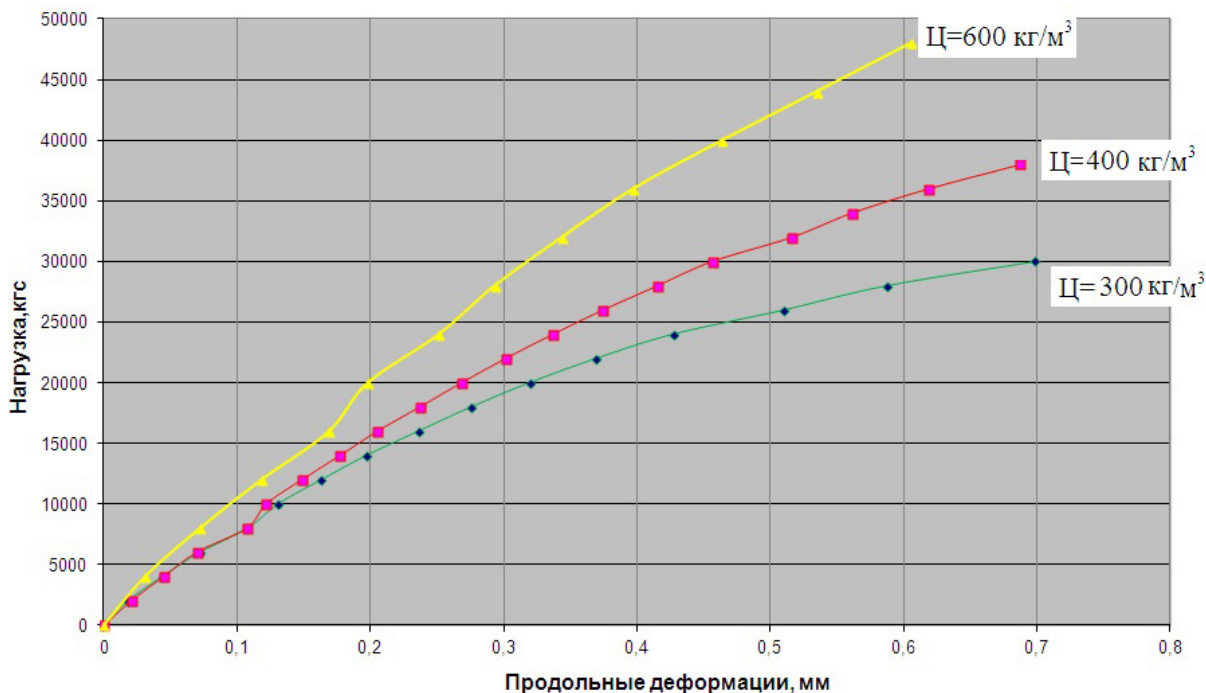


Рис. 2. Зависимость продольных деформаций ЛСУБ при сжатии образцов-призм от величины действующей нагрузки

поперечные деформации

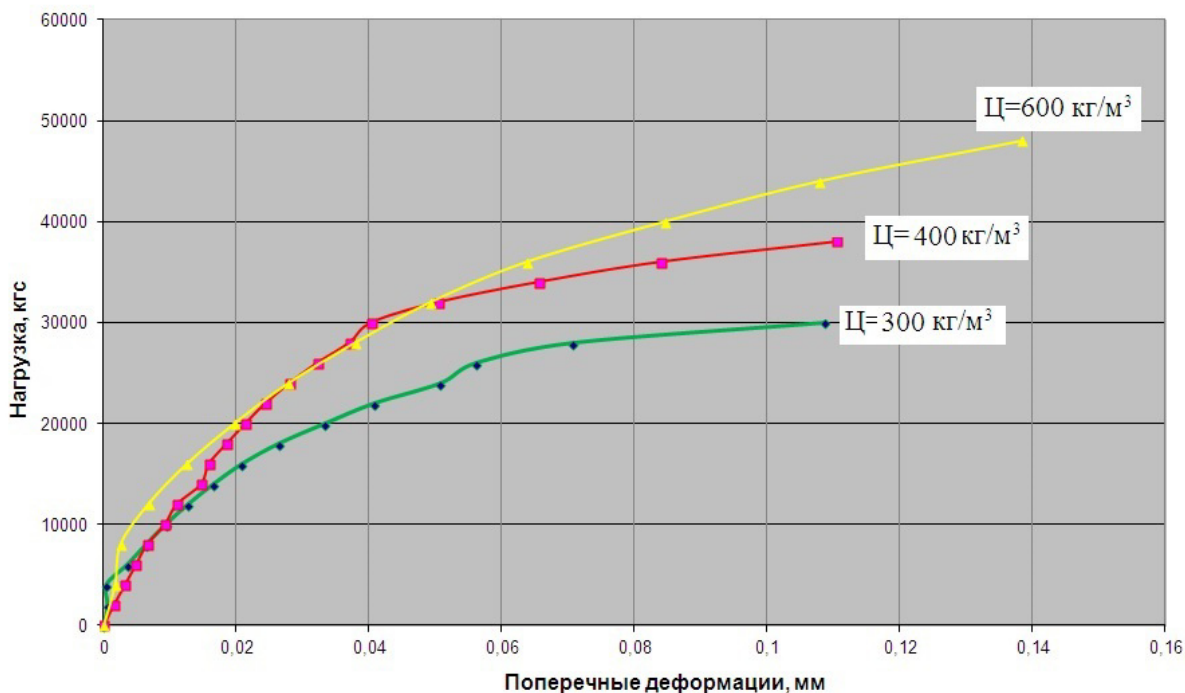


Рис. 3. Зависимость поперечных деформаций ЛСУБ при сжатии образцов-призм от величины действующей нагрузки

На основании полученных данных можно сделать следующие основные выводы:

1. Легкий самоуплотняющийся бетон в затвердевшем состоянии при нагружении проявляет деформационные свойства, аналогичные обычным легким бетонам при условии равной плотности. В диапазоне прочностей при сжатии от 31 до 57 МПа модуль упругости ЛСУБ отклоняется от нормативного, принятого для обычного легкого бетона, не более чем на 8-11%.
2. В исследуемом диапазоне прочностей ЛСУБ от 31 до 57 МПа получены следующие соотношения между различными прочностными характеристиками:  $R_{\text{призм}} = (0,8-0,91) R_{\text{сж}}$ ;  $R_{\text{изг}} = (0,09-0,11) R_{\text{сж}}$ ;  $R_{\text{раск}} = (0,04-0,05) R_{\text{сж}}$ , где  $R_{\text{сж}}$  – кубиковая прочность при сжатии,  $R_{\text{призм}}$  – призмная прочность,  $R_{\text{изг}}$  – прочность на растяжение при изгибе,  $R_{\text{раск}}$  – прочность на растяжение при раскалывании.
3. Доказана возможность получения реологически стабильного легкого самоуплотняющегося бетона марки по плотности D1800 в широком диапазоне прочностей (24 – 57 МПа), в том числе, высокопрочного, за счет применения пористого заполнителя – щебня (5-10 мм) и песка (0-5 мм) из вулканического туфа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аленкар Р., Маркон Ж., Хелене П. Экономичное жилье из СУБ [Текст] // СРІ – Международное бетонное производство, №6, 2010, с. 142-147.
2. Орендлихер Л. П. XXI век – век легких бетонов [Текст] // 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.
3. Рыжов И.Н. О влиянии свойств бетона на качество и себестоимость строительного объекта [Текст] // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, №8, 2007 г. С.35.
4. Choi Yun Wang, Kim Yong Jic, Shin Hwa Cheol, Moon Han Young An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high – strength lightweight self – compacting concrete [Текст] // Cement And Concrete Research, - 2006, (36), № 9, P.1595 – 1602.
5. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self compacting concrete, a shear thickening material [Текст] // Cement and Concrete Research, - 2008, (38) №7, P. 920-929.
6. Leeman A., Lura P., Loser R. Shrinkage and creep of SCC – The influence of paste volume and binder composition [Текст] // Construction And Building Materials, - 2011, (25), № 5, P. 2283 – 2289.
7. Okamura Hajime, Ouchi Masahiro Self-Compacting Concrete [Текст] // Journal of Advanced Concrete Technology, - vol. 1(2003), №1, P. 5-15.
8. Yammine J., Chaouche M., Guerinet M., Moranville M., Roussel N. From ordinary rhelogy concrete to self compacting concrete: A transition between frictional and hydrodynamic interactions [Текст] // Cement and Concrete Research, - 2008, (38) №7, P. 890-896.

**Рецензент:** Несветаев Григорий Васильевич, заведующий кафедрой ТСП РГСУ, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Ростовский Государственный строительный университет.