

УДК 666.972.162

ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА СРЕДНЮЮ ПЛОТНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

ВПЛИВ ДОДАТКОВОЇ КІЛЬКОСТІ ВОДИ ЗАМІШУВАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ РУХЛИВОСТІ БЕТОННИХ СУМШЕЙ НА СЕРЕДНЮ ГУСТИНУ ТА МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ ЛЕГКИХ БЕТОНІВ

AGENCY OF ADDITIONAL QUANTITY OF WATER TO RECOVERY SLUMP OF CONCRETE MIXES ON THE DENSITY AND COMPRESSIVE STRENGTH OF STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETES

Лахтарина С.В., Зайченко Н.М. д.т.н. проф (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка)

Лахтарина С.В., Зайченко М.М. д.т.н. проф (Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Макіївка)

Lakhtaryna S.V., Zaichenko N.M. doctor of technical sciences, professor (Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makiyivka)

Разработаны составы конструкционного легкого бетона с повышенным коэффициентом конструктивного качества (ККК=25,7...29,7), характеризующиеся пределом прочности при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения 49-56 МПа и средней плотностью в сухом состоянии 1879-1887 кг/м³.

Розроблено склади конструкційного легкого бетону з підвищеним коефіцієнтом конструктивної якості (ККЯ=25,7...29,7), що характеризуються межею міцності при стиску у віці 28 діб нормального твердіння 49-56 МПа та середньою густиною в сухому стані 1879-1887 кг/м³.

The compositions of high strength lightweight aggregate concrete with increased coefficient of constructive quality (CCQ=25,7...29,7) which are characterized by compressive strength at the age of 28 days accordingly 55,9 and 48,6 MPa and a density in a dry state - 1879 and 1887 kg/m³ have been received.

Ключевые слова:

конструкционный легкий бетон, суперпластификатор, прочность при сжатии
конструкційний легкий бетон, суперпластифікатор, міцність при стиску
structural lightweight concrete, superplasticizer, compressive strength

Формулировка научной прикладной задачи. Проектирование составов легких бетонов с высоким коэффициентом конструктивного качества позволило в последние годы значительно расширить области их эффективного применения в несущих элементах зданий, инженерных сооружениях промышленного и гражданского строительства. [1-7].

Легкие бетоны могут быть отнесены к высокопрочным, когда выполняется условие [8]:

$$R_{сж} / \rho_0^{сух} \geq 25 \quad (1)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; $\rho_0^{сух}$ – средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/дм³.

Европейским стандартом EN 206-1 для конструкционных легких бетонов установлены диапазоны средней плотности от 1,1 до 2,0 кг/дм³, а по прочности при сжатии – классы от LC8/9 до LC 80/88.

Для получения высокопрочных легких бетонов используют те же технологические приемы, что и в технологии тяжелых высокопрочных бетонов: применение высокомарочных, в том числе композиционных цементов и максимально прочных пористых заполнителей; проектирование состава бетона с предельно низким водоцементным отношением; применение супер- и гиперпластификаторов в сочетании с микрокремнеземом или другими тонкодисперсными кремнеземистыми добавками; особо тщательное перемешивание и уплотнение бетонной смеси с сохранением ее высокой однородности; создание благоприятных условий твердения бетона. В ряде случаев осуществляют предварительную подготовку пористого заполнителя (водонасыщение, активация поверхности, гидрофобизация и др.) [7].

Пористые заполнители вследствие своей способности к влагообмену с цементным тестом в большей мере, чем плотные заполнители, влияют на процессы структурообразования. На первом этапе пористые заполнители, поглощая влагу, способствуют получению более плотного и прочного контактного слоя на поверхности раздела фаз "цементный камень – пористый заполнитель". На втором этапе, при уменьшении количества воды в цементном камне вследствие гидратации цемента, пористые заполнители возвращают ранее поглощенную воду, создавая благоприятные условия для твердения цемента и уменьшая усадочные деформации в цементном камне. Высокая шероховатость поверхности легких заполнителей обеспечивает хорошее сцепление между цементным камнем и заполнителем, а

значительная деформативность заполнителя способствует уменьшению отрицательного явления на структуру бетона усадки цементного камня, предотвращает появление усадочных микротрещин [9].

В результате в легких бетонах цементный камень может обладать достаточной плотностью и однородностью, что существенно уменьшает его проницаемость, повышая тем самым долговечность бетонных и железобетонных конструкций и их стойкость в некоторых агрессивных средах.

В то же время, характерной особенностью пористых заполнителей является значительное водопоглощение. При введении в бетонную смесь в сухом виде пористые заполнители вследствие своей большой пористости и гидрофильности сорбируют из цементного раствора часть воды затворения, что приводит к снижению истинного значения водоцементного отношения, потере подвижности бетонной смеси. Это приводит к повышению энергоемкости производства бетонной смеси и вызывает определенные трудности при дальнейшем формировании.

Наиболее интенсивно процесс поглощения воды пористым заполнителем происходит в первые 10-15 минут после приготовления бетонной смеси. Обычно величина водопоглощения пористого заполнителя в бетонной смеси на 30-50 % ниже его водопоглощения в воде, т.к. на это оказывает влияние водоудерживающая способность цементного теста [9].

Чтобы компенсировать влияние водопоглощения пористым заполнителем и сохранить подвижность бетонной смеси, а также предотвратить негативное влияние аутогенной усадки [14] на свойства высокопрочных легких бетонов приходится увеличивать расход воды либо предварительно увлажнять пористые заполнители или обрабатывать их поверхность гидрофобизирующими добавками [13]. Однако эти мероприятия существенно усложняют технологический процесс производства бетонной смеси.

Наиболее простым, с технологической точки зрения, способом компенсации потери влаги в бетоне вследствие ее поглощения пористым заполнителем является введение избыточного количества воды затворения с превышением исходной подвижности по отношению к заданной. В этом случае логично предположить, что введение дополнительного количества воды затворения может оказывать существенное влияние как на показатель средней плотности бетонной смеси и бетонов, так и прочностные показатели легких бетонов. В то же время, по данным [10], избыточное количество воды затворения по отношению к заданному, поглощаемое пористым заполнителем, не сказывается на величине истинного В/Ц и не снижает прочность бетона.

Целью работы является исследование влияния дополнительного количества воды затворения, необходимого для восстановления подвижности бетонных смесей и сохранности заданного В/Ц, на показатели средней плотности и прочности при сжатии конструктивных легких бетонов.

Исследования выполнены в Датском Техническом Университете в рамках научной стажировки.

Характеристика исходных материалов. В качестве компонентов легкобетонных смесей приняты:

- портландцемент (ПЦ): Aalborg rapid cement CEM I-52,5N;
- минеральная добавка: микрокремнезем (МК): Elkem Microsilica from Norway, Non-combustible amorphous SiO₂;
- химическая добавка: суперпластификатор (СП) Sica Viscocrete-2300 HE;
- мелкий заполнитель: песок (П) кварцевый фракции 1-2 мм;
- пористый крупный заполнитель (ПКЗ): Leca® (керамзит) фракций: 2-4 мм; 4-8 мм (круглая форма зерен) (рис. 1); основные свойства приведены в табл. 1, рис. 2.

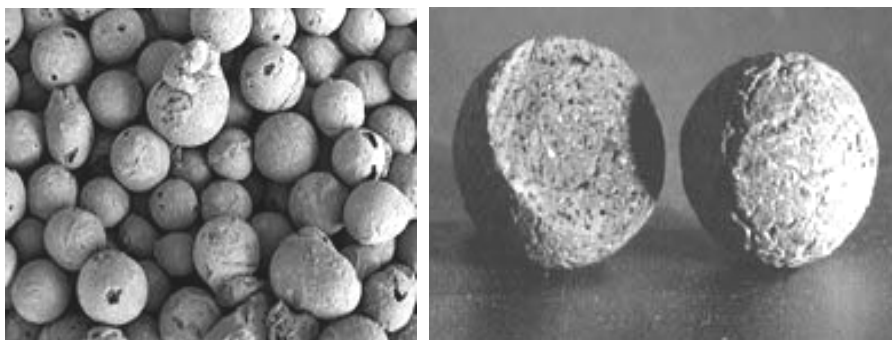


Рис. 1. Внешний вид пористого заполнителя Leca®

Таблица 1
Основные свойства крупного пористого заполнителя Leca®

№ п/п	Наименование показателя	Значение для керамзита фракции, мм	
		2-4	4-8
1	Средняя плотность зерен, кг/м ³	830	710
2	Средняя насыпная плотность, кг/м ³	420	410
3	Водопоглощение, % по массе (в течение часа)	39%	44%
4	Пористость общая, %	69%	74%

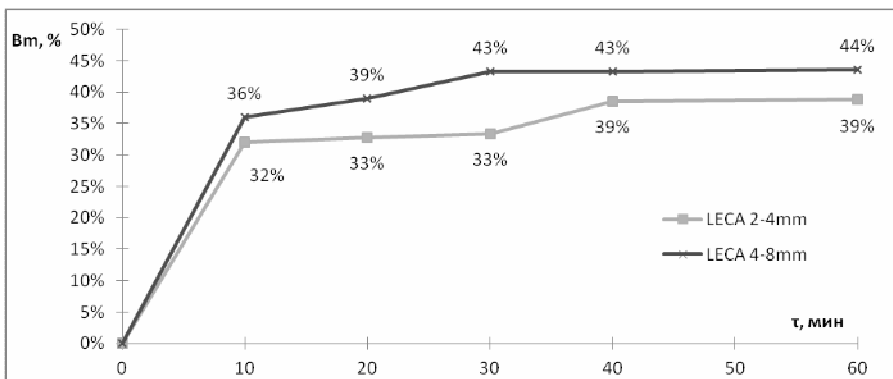


Рис. 2. Зависимость водопоглощения по массе пористых заполнителей (B_m) от времени (t)

Из данных, приведенных на рис. 2, следует, что пористый заполнитель начинает наиболее интенсивно поглощать воду в первые 10 минут, а затем этот процесс стабилизируется.

Было приготовлено восемь составов бетонных смесей с одинаковым расчётным В/Ц и с различным дополнительным количеством воды затворения – B^1 – 10%, 15% и 25% от массы пористого заполнителя. Составы и основные свойства легковесных смесей приведены в табл. 2.

Прочность бетонов при сжатии определяли на образцах цилиндрах с размерами 60×120 мм [12] (рис. 3).

Таблица 2

Составы и основные свойства легковесных смесей

№	Фракция ПКЗ	В/Ц	Расход компонентов (кг/м ³)							Средняя плотность смеси (кг/м ³)
			ПЦ	МК	В	B^1	П	ПКЗ	СП	
1	ПКЗ 40%, 2-4 мм	0.25	667	100	159	-	467	160	8	1880
2	ПКЗ 40%, 2-4 мм (+10% B^1)	0.25	667	100	159	16	467	160	8	1892
3	ПКЗ 40%, 2-4 мм (+15% B^1)	0.25	667	100	159	24	467	160	8	1882
4	ПКЗ 40%, 2-4 мм (+25% B^1)	0.25	667	100	159	40	467	160	8	1904

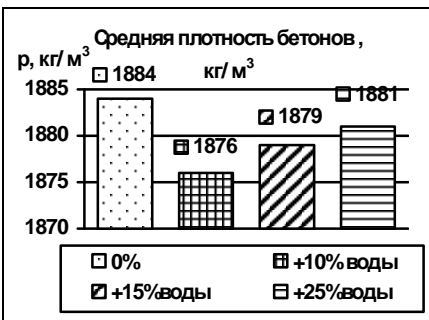
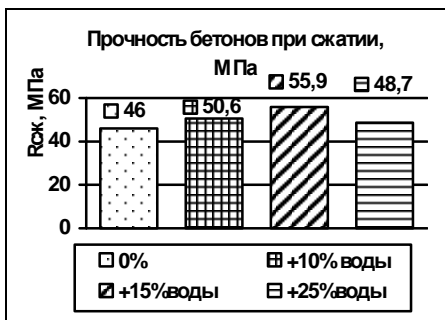
5	ПКЗ 40%, 4-8 мм	0.25	667	100	159	-	467	160	8	1844
6	ПКЗ 40%, 4-8 мм (+10% В ^л)	0.25	667	100	159	16	467	160	8	1849
7	ПКЗ 40%, 4-8 мм (+15% В ^л)	0.25	667	100	159	24	467	160	8	1865
8	ПКЗ 40%, 4-8 мм (+25% В ^л)	0.25	667	100	159	40	467	160	8	1897



Рис. 3. Образцы легких бетонов для испытания на предел прочности при сжатии

Результаты экспериментальных исследований. Введение дополнительного количества воды затворения в состав легкобетонной смеси приводит к повышению предела прочности при сжатии легких бетонов и практически не влияет на показатели средней плотности легких бетонов.

Так, введение в бетонную смесь с заполнителем фракции 2-4 мм (состав 3) 15 % дополнительной воды затворения – приводит к повышению прочности при сжатии на 21,5% ($R_{сж}=55,9$ МПа) по сравнению с составом 1 ($R_{сж}=46$ МПа.). Дальнейшее увеличение дополнительного количества воды затворения приводит к снижению прочности бетонов при сжатии (рис. 5.а). Вероятно, это происходит вследствие увеличения эффективного значения В/Ц отношения. При этом введение дополнительного количества воды затворения практически не влияет на показатели средней плотности бетонов, они находятся в пределах от 1876 кг/м^3 до 1884 кг/м^3 (рис. 5.б).

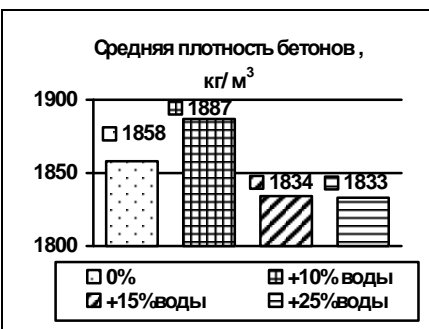
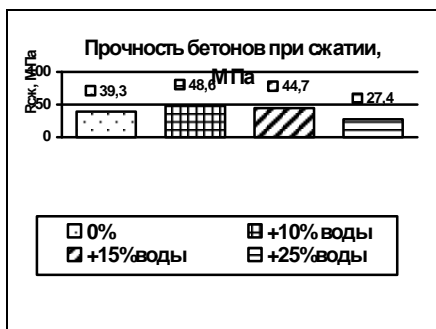


а) Прочность бетонов при сжатии, МПа;

б) Средняя плотность бетонов, кг/м³

Рис. 5. Изменение предела прочности при сжатии и средней плотности легких бетонов с пористым заполнителем фракций 2-4 мм составы 1-4 (табл. 2) в зависимости от количества дополнительной воды затворения

Однако в бетонах с пористым заполнителем фракции 4-8 мм наблюдается иная тенденция: наибольшее значение предела прочности при сжатии получено для состава 6 (табл. 2) при введении 10% дополнительной воды затворения. Прочность в этом случае составляет 48,6 МПа, что на 23,6% выше, чем для бетона состава 5 ($R_{сж}=39,3$ МПа) (при введении пористого заполнителя без дополнительного количества воды затворения) Дальнейшее повышение дополнительного количества воды затворения также приводит к снижению прочности бетонов при сжатии (рис. 6. а). Показатели средней плотности легких бетонов с пористым заполнителем фракции 4-8 мм находятся в пределах от 1833 до 1887 кг/м³ (рис. 6. б).



а) Прочность бетонов при сжатии, МПа;

б) Средняя плотность бетонов, кг/м³

Рис. 6. Изменение предела прочности при сжатии и средней плотности легких бетонов с пористым заполнителем фракций 4-8 мм составы 5-8 (табл. 2) в зависимости от количества дополнительной воды затворения

Выводы. Разработаны составы конструкционного легкого бетона с повышенным коэффициентом конструктивного качества ($K_{КК}=25,7\dots 29,7$), характеризующиеся пределом прочности при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения 49-56 МПа и средней плотностью в сухом состоянии 1879-1887 кг/м³. Такой бетон может найти эффективное применение в ограждающих конструкциях высотных зданий и сооружений.

При использовании технологии введения дополнительного количества воды затворения с целью сохранения подвижности необходимо учитывать свойства пористых заполнителей (среднюю плотность, пористость, кинетику водопоглощения).

Необходимо в дальнейшем проведение испытаний легких бетонов на деформационные характеристики и определение кинетики изменения внутренней влажности бетонов в процессе их твердения.

1. Шейрп Н.Р. Сравнение использования легкого бетона в Нью-Йорке и Лондоне // *Civil Engineering and Public Review* // - № 697 – 1964 – 59 pp.
2. Хаисон Дж. Замена легкого заполнителя природным тяжелым песком в конструктивном легком бетоне // «*Journal the American Concrete Institute*» - №7 – 1964. – 61 pp.
3. Liles P. High Strength Lightweight Concrete for Use in Precast, Prestressed Concrete Bridge Girders in Georgia / P. Liles, R.B. Holland // *HPC Bridge Views*. - Issue 61, May/June 2010. – P. 1-10.
4. Mechanical properties of lightweight aggregate concrete / EuroLightCon - Economic Design and Construction with Light Weight Aggregate Concrete: Document BE96-3942/R23, June 2000 – 50 pp.
5. Sadrekarimi A. Development of a Light Weight Reactive Powder Concrete / A. Sadrekarimi // *J. of Advanced Concrete Technology*. – 2004. – Vol. 2, No 3. – P. 409-417.
6. Kenneth S. Engineering properties of structural lightweight concrete [электрон. ресурс] / S. Kenneth // <http://www.stalite.com/uploads/EngineeringProperties.pdf>.
7. ACI 211.2-98 (Reapproved 2004) "Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete" (ACI 211.2-98) Reported by ACI Committee 211. – Detroit Michigan: American Concrete Institute, 2004. – 20 p.
8. Звездов А.И. Высокопрочные легкие бетоны в строительстве и архитектуре / А.И. Звездов, В.П. Фаликман // *Деловая слава России*. – 2010. – № 4. – С. 106-109.
9. Баженов Ю.М. Технология бетона: [науч. изд-е] / – М.: Высш. шк., 1987. – 415 с.
10. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны: [науч. изд-е] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
11. ASTM C128 – 07a. "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate" // ASTM International – West Conshohocken Pennsylvania 19428-2959, United States 2007. – 7 pp.
12. ASTM C39/C39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens // ASTM International – West Conshohocken Pennsylvania 19428-2959, United States 2006. – 8 pp.
13. Jensen, O. M. "Autogenous phenomena in cement-based materials" // Department of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University –2005 – 188 pp. ISBN 87-91606-00-4
14. ACI 116 R-00 (Reapproved 2004) "Cement and Concrete Terminology" Reported by ACI Committee 116. – Detroit Michigan: American Concrete Institute, 2000. – 25 p.