

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ СОСТАВА БЕТОНОВ НА ВТОРИЧНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ С РАЗНОМОДУЛЬНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

И.О. Егорочкина

Приведены основные положения, касающиеся подбора составов бетонов с компенсированной усадкой на вторичных заполнителях с низко модульными включениями в виде дробленого керамзитобетона, назначения оптимального количества расширяющей добавки для компенсации усадки, особенностей материалов, а также особенностей приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси. Разработаны предложения по нормативным и расчетным характеристикам основных показателей назначения бетонов.

Ключевые слова: вторичные заполнители, низко модульные включения, разно модульные заполнители, сульфоалюминатная добавка, самонапряжение, контракция цементного камня, собственные деформации, усадка бетона конструкций, компенсация усадочных деформаций.

Целесообразность повторного использования отслуживших срок эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций для производства заполнителей для нового строительства, так называемых вторичных заполнителей, общеизвестна [3, 7–9]. Однако отсутствие классификации, критериев оценки качества и недостаточная изученность свойств бетонов на вторичных заполнителях ограничивают объемы их использования, несмотря на имеющийся 50-летний опыт применения в строительстве. В работах отечественных и зарубежных исследователей [1, 3, 9] представлены данные о свойствах вторичных гранитных и известняковых заполнителей. Современные комплексы по переработке бетонного лома позволяют получать вторичный заполнитель высокого качества, но разделение демонтируемых конструкций по виду используемого сырья не всегда возможно, особенно в случае повреждения конструкций взрывными и сейсмическими воздействиями. Такой вторичный заполнитель будет содержать гранулы дробленого керамзитобетона, кирпича и других низко модульных включений (НМВ). Существенным недостатком, ограничивающим область применения бетонов на вторичных заполнителях, особенно с НМВ, являются усадочные деформации, значительно превышающие деформации бетонов на природных заполнителях и определяющие формирование в структуре бетона микротрещин, развитие которых приводит к снижению эксплуатационных характеристик конструкций. Рациональным решением проблемы является использование цементов расширяющихся, напрягающих или общестроительного назначения, модифицированных расширяющей добавкой (РД), для полной или частичной компенсации последствий усадочных явлений.

Подбор состава и технология приготовления бетонов с компенсированной усадкой на разно модульных вторичных заполнителях имеет свои особенности. На основе результатов исследований,

проведенных в РГСУ, составлены рекомендации, распространяющиеся на подбор состава, приготовление и применение бетонов с компенсированной усадкой на разно модульных вторичных заполнителях. Положения, касающиеся предварительного разрушения некондиционных бетонных и железобетонных изделий, измельчения, фракционирования и обогащения вторичных заполнителей, изложены в работе [4].

Используемые материалы и их свойства

В качестве вяжущих веществ рекомендуется применять цементы:

– портландцемент ПЦ Д0 Н М 400-500 по ГОСТ 10178 с содержанием C_3A в клинкере не более 6 %;

– расширяющиеся цементы заводского изготовления НЦ-10, НЦ-20, соответствующие ТУ 21-20-18-80, ТУ 21-20-48-82, ТУ 212613-90;

– портландцемент, модифицированный сульфоалюминатной расширяющей добавкой (РД).

Добавка РД сульфоалюминатного типа готовится на основе алюминатного компонента и двухводного гипса [6]. В качестве алюминатного компонента следует использовать глиноземистый цемент (ГОСТ 969); глиноземистый или сталерафинированный шлак; сульфоалюминатный клинкер. Двухводный гипс получают гидратированием строительного гипса. Процесс приготовления добавки включает дозирование компонентов глиноземистого цемента и двухводного гипса, взятыми в соотношении ГЦ:Г = 1:0,5 по массе и совместный помол до удельной поверхности 3400–3500 $см^2/г$. Оптимальное количество расширяющей добавки устанавливается по величине относительной внешней контракции цементного камня в соответствии с методикой, изложенной в [5]. В наших экспериментах использованы цементы с расширяющими добавками, приготовленные на основе ПЦ М500 новороссийского завода «Октябрь», ко-

Научно-методический раздел

торые в зависимости от количества добавки, 10 или 20 % от массы цемента, соответственно обозначены как РД-10 и РД-20. Свойства используемых вяжущих веществ приведены в табл. 1.

В качестве мелкого заполнителя следует применять природные плотные пески, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 8736. Использование пористых песков природных и искусственных, а также полученных дроблением бетонного лома для производства бетонов с компенсированной усадкой недопустимо.

В качестве крупного заполнителя рекомендуется применение фракционированного щебня из дробленого бетонного лома на тяжелых и легких заполнителях, отвечающего требованиям ГОСТ 8269.

При подборе состава бетона на разномодульных вторичных заполнителях необходимо предварительно проверить заполнители на их соответствие требованиям ГОСТ 8269.0 по средней плотности, величине водопоглощения, гранулометрическому составу и содержанию пылевидных фракций.

Установлены критерии для классификации и оценки качества вторичных заполнителей – вид горной породы природного заполнителя; гранулометрический состав; соотношение плотных и пористых зёрен в процентах; содержание пылевидных фракций в процентах; физико-механические характеристики – предел прочности при сжатии,

водопоглощение; вид обогащения и/или активации. В работе представлен фрагмент общей классификации разномодульных вторичных заполнителей с определением области применения (табл. 2) и сводные данные по основным характеристикам (табл. 3). Окончательную оценку свойств того или иного вида вторичных заполнителей следует производить по результатам испытаний в бетоне.

Для обеспечения требуемых реологических свойств бетонной смеси, а также во избежание перерасхода цемента, обусловленного повышенной водопотребностью смесей на вторичных заполнителях, следует вводить соответствующие виды добавок в соответствии с рекомендациями ГОСТ 24211. Вода для затворения бетонной смеси должна удовлетворять требованиям ГОСТ 23732.

Особенности подбора состава бетона

Подбор состава бетона на вторичных разномодульных заполнителях может производиться любым проверенным на практике способом с учетом особенностей заполнителей, перечисленных в исследовательских работах [1–3].

При подборе состава бетона с компенсированной усадкой на вторичных заполнителях рекомендуется соблюдать следующие требования:

– ограничивать содержание НМВ в составе вторичных заполнителей до 15 %;

Свойства применяемых цемента

Таблица 1

Вид цемента	Активность, МПа		Самонапряжение, S_p , МПа, Расширение, ϵ , %			НГ, %	Сроки схватывания, ч-мин	
	сжатие	изгиб	S_p/ϵ_v	$\epsilon_{св}$	$\epsilon_{св}/\epsilon_v$		начало	конец
ПЦ	43,2	5,8	–	–	–	25,4	2–10	4–35
РД-10	44,8	5,9	–	–	–	26,5	1–25	3–20
РД-20	47,0	6,4	2 / 0,1	1	10	27,0	0–48	2–10

Классификация вторичных заполнителей по назначению

Таблица 2

Категория и вид вторичных заполнителей		Обозначение	Область применения
I	Щебень из дробленого бетона на граните (плотном известняке) без посторонних включений	Щ1	Стеновые панели и перегородки жилых зданий с высокими требованиями к качеству поверхности, плиты и панели перекрытий без пустот, ребристые плиты
II	Щебень из дробленого бетона на граните (плотном известняке) с НМВ в количестве не более 15% от объема заполнителей	Щ2	Общее малоэтажное многоквартирное строительство, фундаменты складских и производственных помещений, лестничные площадки и марши
III	Щебень из дробленого бетона на граните (плотном известняке) с НМВ в количестве не более 35% от объема заполнителей	Щ3	Линейные изделия простого профиля (стеновые панели промзданий, блоки фундаментные и стеновые, плиты креплений откосов земляных сооружений, элементы бункеров)
IV	Щебень из дробленого бетона на граните (плотном известняке) с НМВ в количестве более 35 % от объема заполнителей	Щ4	Бетонные блоки фундаментов, гаражи и легкие подсобные помещения, навесные панели с обычными требованиями к качеству поверхности, дорожные покрытия

Таблица 3

Сводные данные по характеристикам вторичных заполнителей

Характеристики вторичных заполнителей						Характеристики бетона		
Категория	Фракция, мм	Насыпная плотность, кг/м ³	Плотность в куске, кг/м ³	Водопоглощение, %	Марка по прочности	Средняя плотность, кг/м ³	Средняя прочность, МПа	Водопоглощение W _о , %
I	5–20	1285–1310	2500–2550	до 5,3	800	2250	45,0	9,5
II	5–20	1240–1300	2420–2450	до 6,6	600	2224	40,0	10,2
III	5–20	1170–1200	2310–2380	до 7,1	400	2200	34,5	12,6
IV	5–20	1110–1155	2020–2150	>8,0	<400	<2200	30,0	14,5

– показатель прочности вторичных плотных заполнителей, оцениваемый по дробимости (ГОСТ 8269.0), должен быть не более 18 %;

– прочность низко модульных включений при сдавливании в цилиндре должна быть не менее 4,0 МПа;

– смесь фракций щебня должна обеспечивать получение межзерновой пустотности не более 46 %;

– коэффициент раздвижки зерен заполнителя (α) рекомендуется принимать равным 1,1–1,35;

– применение бетонной смеси подвижностью свыше 3 см без добавок ПАВ не рекомендуется;

– окончательная пригодность вторичных заполнителей должна устанавливаться по результатам испытаний бетона.

Состав бетона на вторичных заполнителях должен назначаться строительной лабораторией на основе опытных замесов, проводимых на материалах-представителях для данного предприятия или стройки с учетом применяемой технологии приготовления, формования и твердения бетона. Рекомендуется при предварительном назначении Ц/В-отношения пользоваться формулой:

$$R = 0,63a(1,1 - 0,11(\text{Ц/В}))R_{\text{ц}}((\text{Ц/В}) - 0,5), \quad (1)$$

где $a = 1 - 0,01\text{НМВ}$ при $\text{НМВ} < 15\%$; $a = 0,82$ при НМВ свыше 15 %; НМВ – содержание низко модульных включений в виде дробленого керамзитобетона в составе вторичного заполнителя, % по объему.

При отсутствии данных о фактическом содержании НМВ рекомендуется пользоваться формулой:

$$R_{\text{Бу}} = R_{\text{ТБ}} (\rho / 2,4)^{2,36}, \quad (2)$$

где $R_{\text{Бу}}$ – предел прочности бетона на вторичных заполнителях, МПа; $R_{\text{ТБ}}$ – предел прочности бетона с равным Ц/В на природных заполнителях, МПа; ρ – плотность бетона, т/м³.

Повышение до 20 % водопотребности бетонных смесей на вторичных разномодульных заполнителях следует нейтрализовать введением пластифицирующих добавок и, соответственно, сокращением расхода воды. При необходимости подбора составов одновременно нескольких марок бетона, а также в случаях, когда в процессе подбо-

ра необходимо уточнить ряд дополнительных факторов (соотношение компонентов в бетонной смеси, дозировку расширяющих и других добавок (пластификаторов)), рекомендуется использование методов математического планирования экспериментов.

Приготовление, транспортировка и укладка бетонной смеси

Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси на вторичных разномодульных заполнителях принципиально не отличается от аналогичных технологических переделов для бетонов на плотных природных и вторичных заполнителях. Вышеназванные операции следует производить согласно рекомендациям по приготовлению и применению бетонов на заполнителях из дробленого тяжелого бетона [4].

Твердение бетонов с компенсированной усадкой на вторичных разномодульных заполнителях должно протекать в условиях, обеспечивающих достижение бетоном распалубочной, передаточной, отпускной и проектной прочности в наиболее короткие сроки при одновременном соблюдении требований к качеству готовых изделий. Нарастание прочности бетонов на вторичных заполнителях, твердеющих без тепловлажностной обработки, рекомендуется определять по формуле, при $\tau > 28$ сут:

$$R_{\tau} = 0,95 K_{\text{y}} R_{28} \times \exp(K_{\text{ц}} (0,95 - 0,013R_{28}) (1 - (28/\tau)^{0,5})), \quad (3)$$

где R_{28} – марочная прочность, МПа; $K_{\text{ц}} = 1,0$ для ПЦ; $K_{\text{ц}} = 1,15$ для бетонов с РД; K_{y} – коэффициент, зависящий от вида цемента и степени «зрелости» бетона к моменту окончания влажностного ухода, принимаемый по табл. 4.

При $\tau < 28$ сут нарастание прочности бетонов на вторичных заполнителях можно принимать аналогично бетонам на природных заполнителях.

Тепловлажностную обработку бетонов с компенсированной усадкой на вторичных разномодульных заполнителях следует производить по режимам, рекомендуемым для бетонов на природных тяжелых заполнителях, к которым предъявляются

Значения коэффициента K_u в формуле (3)

Относительная прочность к моменту окончания ухода, R_y , %	Количество сульфоалюминатной РД, %		
	0	10	20
50	0,85	0,865	0,65
70	0,90	0,92	0,84
80	0,92	0,94	0,93
85	0,93	0,95	0,97
100	0,95	0,97	1,10

повышенные требования по водонепроницаемости и морозостойкости – длительность предварительного выдерживания не менее 4 часов, скорость подъема температуры – не более 20 °С /ч, температура изотермического выдерживания – не более 60 °С, охлаждение со скоростью не более 20 °С /ч.

Контроль качества таких бетонов необходимо производить в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Разработанные рекомендации по подбору составов, классификации и нормированию параметров качества бетонов с компенсированной усадкой на вторичных разномодульных заполнителях позволят существенно расширить область применения продуктов дробления бетонных и железобетонных конструкций, решая актуальные проблемы ресурсосбережения и охраны окружающей среды.

Разработанные рекомендации внедрены на ЗАО «КСМ № 1» в г. Ростов-на-Дону.

Литература

1. Егорочкина, И.О. Структура и свойства бетонов с компенсированной усадкой на вторичных заполнителях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.О. Егорочкина. – Ростов-н/Д, 1998. – 23 с.
2. Айрапетов, Г.А. Структура и свойства бетонов с компенсированной усадкой на вторичных заполнителях / Г.А. Айрапетов, Г.В. Несветаев, И.О. Егорочкина // Бетон и железобетон. – 1998. – № 2. – С.12–16.

ев, И.О. Егорочкина // Бетон и железобетон. – 1998. – № 2. – С.12–16.

3. Гусев, В.А. Вторичное использование бетона / В.А. Гусев, Б.В. Загурский. – М.: Стройиздат, 1986. – 158 с.

4. Рекомендации по приготовлению и применению бетонов на заполнителях из дробленого тяжелого бетона. НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1982. – 24 с.

5. Несветаев, Г.В. Бетоны / Г.В. Несветаев. – Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 382 с.

6. Петрова, Т.М. Современные модифицирующие добавки в бетоны / Т.М. Петрова, О.М. Смирнова // Материалы XV Академических чтений РААСН «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии». – Казань. – 2010, Т. I. – С. 247–252.

7. Egorochkina, I.O. Properties of shrinkage compensated concrete made with recycled aggregate / I.O. Egorochkina, G.V. Nesvetajev, G.A. Airapetov // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: материалы 2-й междунар. конф. – Ростов н/Д, 2002. – С. 4–7.

8. Concrete – 2000. Economic and durable construction through excellence // University of Dundee. Scotland, UK 7–9 Sept., 1996.

9. Hansen, T. Recycled aggregates and recycled-aggregate concrete / T. Hansen // Concrete international. – 1988. – № 1. – P. 79–83 (USA).

Егорочкина Инна Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики», Ростовский государственный строительный университет (Ростов-на-Дону), arin@bk.ru

Поступила в редакцию 18 февраля 2014 г.

RECOMMENDATIONS FOR THE PREPARATION, TRANSPORTATION AND STORAGE OF SHRINKAGE COMPENSATED CONCRETE MADE OF RECYCLED LOW-MODULUS AGGREGATES

I.O. Egorochkina, Rostov State University of Civil Engineering, Rostov-on-Don, Russian Federation, arin@bk.ru

The properties of concrete with cube compressive strength up to 66 MPa made of re-used aggregates were studied in comparison with ND concrete. Both re-used aggregates obtained from ND and LWA concrete in different proportions were used. Sulfo-aluma expansive admixture was used to compensate high shrinkage of concrete made of re-used aggregates. The relationships between compressive strength and E-modulus, strain at the peak stress, indirect tensile strength and others are discussed and recommended for practical use. Regulations estimates of destination are proposed.

Keywords: re-used aggregates, re-used aggregate made of LWA concrete, sulfo-aluma expansive admixture, shrinkage of concrete, microcracking characteristics, contraction of cement paste.

References

1. Egorochkina I.O. *Struktura i svoystva betonov s kompensirovannoy usadkoy na vtorichnykh zapolnitelyakh*. Avtoref. kand. diss. [Structure and properties of concrete with shrinkage on the secondary aggregates. Abstract of cand. diss.]. Rostov-na-Donu, 1998. 23 p.
2. Ayrapetov, G.A., Nesvetaev, G.V., Egorochkina, I.O. [Structure and properties of concrete with shrinkage on the secondary aggregates]. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced concrete], 1998, no. 2, pp.12–16 (in Russ).
3. Gusev V.A., Zagurskiy B.V. *Vtorichnoe ispol'zovanie betona* [Recycling concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 158 p.
4. *Rekomendatsii po prigotovleniyu i primeneniyu betonov na zapolnitelyakh iz droblenogo tyazhelogo betona* [Recommendations for preparation and application of concrete aggregates from crushed heavy concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1982. 24 p.
5. Nesvetaev G.V. *Betony* [Concretes]. Rostov-na-Donu, Feniks Publ., 2011. 15 p.
6. Petrova T.M., Smirnova O.M. [Modern modifying additives in the concrete] *Materialy KhV Akademicheskikh chteniy RAASN "Dostizheniya i problemy materialovedeniya i modernizatsii stroitel'noy industrii"* [Materials XV Academic readings RAAC "Achievements and problems of material science and modernization of the construction industry]. Kazan, 2010, vol. 1, pp. 247–252 (in Russ).
7. Egorochkina I.O., Nesvetajev G.V., Airapetov G.A. Properties of shrinkage compensated concrete made with recycled aggregate. *Beton i Zhelezobeton v tret'em tysyacheletii. Materialy 2-y mezhdunarodnoy konferentsii* [Concrete and reinforced concrete in the third Millennium: proceedings of the 2nd international conference]. Rostov-na-Donu, 2002, pp.4–7.
8. Concrete – 2000. Economic and durable construction through excellence. University of Dundee. Scotland, UK 7–9 Sept., 1996.
9. Hansen T. Recycled aggregates and recycled-aggregate concrete. *Concrete international*, 1988, no. 1, pp. 79–83 (USA).

Received 18 February 2014