



УДК 691.327

Галеев А.Ф. – студент

E-mail: ayzat-galeev@rambler.ru

Морозов Н.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: nikola_535@mail.ru

Боровских И.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: borigor83@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Снижение расхода цемента в самоуплотняющихся мелкозернистых бетонах

Аннотация

Использование самоуплотняющихся бетонов взамен рядовых в настоящее время весьма ограничено. Несмотря на высокую технологичность, комплексную экономическую эффективность, данный материал не применяется ввиду его повышенной себестоимости по материалам относительно рядовых бетонов в 1,4-1,5 раза. Удорожание происходит из-за повышенных расходов цемента СУБ. В исследовании поставлена задача снижения расходов цемента в самоуплотняющемся бетоне при сохранении основных прочностных и эксплуатационных характеристик рядовых бетонов. Был разработан состав самоуплотняющегося бетона класса В30 с расходом цемента 300 кг/м³, который не уступает по прочностным характеристикам составу с расходом в 550 кг/м³. Для получения такого бетона использовалось сочетание сокращения расхода цемента с одновременной заменой части его на известково-кремнеземистый наполнитель, применение в качестве заполнителя только фракционированного кварцевого песка.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, снижение расхода цемента, наполнитель, прочность.

Во второй половине XX века в строительной сфере появилось такое понятие как самоуплотняющийся бетон (СУБ) – бетон, способный уплотняться под действием собственного веса без воздействия дополнительной энергии уплотнения и полностью заполнять пространство опалубки, в том числе между арматурными стержнями. Одним из основоположников этого направления был профессор Окамура [1], который отмечал ряд особенностей, отличающих СУБ от обычного бетона: повышенный расход цемента, повышенный расход пластификаторов, отличные реологические свойства. В связи с этими особенностями значительно повышается себестоимость получаемого бетона [2, 3].

В настоящее время накоплен положительный опыт применения мелкозернистого бетона в монолитном домостроении для жилищного и гражданского строительства с классом по прочности не выше В25...В30. При этом, производство мелкозернистого бетона требует повышенного расхода цемента, что вызывает удорожание бетона и железобетонных конструкций, а твердение сопровождается развитием усадочных деформаций вследствие отсутствия крупного заполнителя, что отрицательно сказывается на его трещиностойкости и долговечности. Все это является сдерживающим фактором более широкого применения мелкозернистого бетона в строительной практике [4]. Решение задачи повышения эффективности мелкозернистых бетонов и более широкого применения их в строительстве может быть достигнуто путем замены части цемента на более дешевые наполнители.

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 [5, 6]. Одним из решений является использование в качестве заполнителей только песка. Но и в этом случае вопрос снижения расхода цемента остается открытым. Поэтому необходим правильный подбор наполнителей и суперпластификаторов, позволяющих снизить расход воды и цемента при сохранении технологических свойств бетонной смеси [7].

В качестве исходных материалов было использовано: портландцемент ЦЕМ I 42,5Б, Мордовского цементного завода, соответствующий ГОСТ 31108-2003.

В качестве заполнителей и наполнителей использовались:

- речной кварцевый песок камского месторождения;
- обогащенный кварцевый песок (60 % фр. 1,25-5, 20 % фр. 0,315-1,25 и 20 % фр. менее 0,315 мм);
- известняковая мука Бондюжского месторождения карбонатных пород с удельной поверхностью 3000 см²/г;
- микрокремнезем Челябинского электрометаллургического комбината марки МК-85, с удельной поверхностью более 40000 см²/г.

Используемые суперпластификаторы:

- Melflux 2651F – химическая основа – модифицированный эфир поликарбоксилата, порошок желтого цвета;
- Sika Visko Crete 5-600 SK – химическая основа – эфир поликарбоксилата, не прозрачная жидкость белого цвета.

Кинетика набора прочности измерялась на 3, 7 и 28 сутки, испытания проводились по ГОСТ 10180-2012.

Оценка водоредуцирующего эффекта была произведена по методике [8].

Основная задача исследования – получение самоуплотняющихся бетонов с низким расходом цемента. При этом необходимо сохранить механические характеристики бетона контрольного состава. Было произведено сравнение прочностных характеристик и водопоглощения самоуплотняющегося бетона на разных наполнителях и суперпластификаторах.

Перед проектированием составов был исследован водоредуцирующий эффект пластификаторов с наполнителями. Зависимости водоредуцирующего эффекта от вида и дозировки наполнителей и суперпластификаторов приведены на графиках (рис. 1-2).

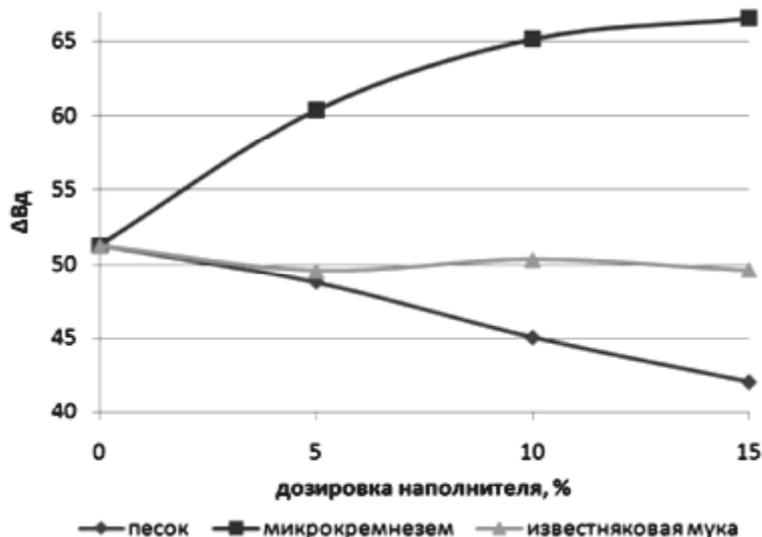


Рис. 1. Влияние наполнителей на величину водоредуцирующего эффекта добавки Melflux 2651F (0,9 %)

На рис. 1 ярко выражено влияние микрокремнезема на эффективность суперпластификатора Melflux. При повышении его доли в цементной системе увеличивается величина водоредуцирующего эффекта и максимальное значение достигает 67 %. В то же время, водоредуцирующий эффект данного суперпластификатора снижается при применении других наполнителей.

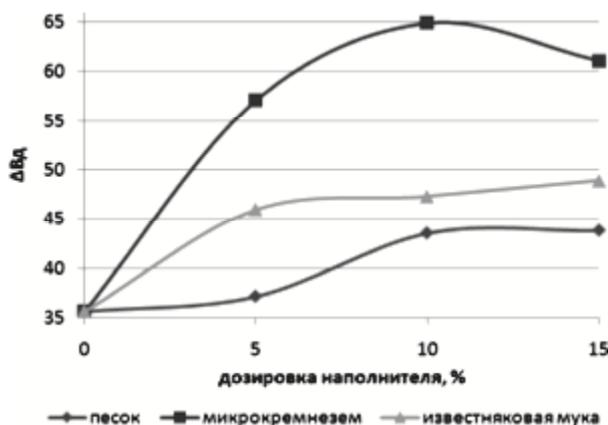


Рис. 2. Влияние наполнителей на величину водоредуцирующего эффекта добавки Siko Visko Crete 5-600

При использовании добавки Sika, как видно из рис. 2, величина водоредуцирующего эффекта так же максимальна для микрокремнезема с долей его в цементной системе 10 % и составляет 65 %.

Из полученных данных можно сделать следующие выводы: эффективность добавки Melflux увеличивается только при использовании в качестве наполнителя микрокремнезема, при использовании добавки Sika, введение наполнителей во всех случаях приводит к увеличению водоредуцирующего эффекта.

Исходя из результатов были предложены следующие составы самоуплотняющихся бетонов (табл. 1).

Таблица 1

Составы самоуплотняющихся бетонов

№	Цемент, кг	Песок, кг	Микрокремнезем, кг	Изв. мука, кг	Вид добавки и кол-во, %	В/Ц	Воздухововл., %	T ₅₀₀ , с
1	550	1600	-	-	Sika 1,0	0,45	6,2	3
2	550	1600	50	-	Sika 1,0	0,5	7,8	5
3	500	1600	50	-	Melf 0,9	0,457	5,4	8
4	450	1600	50	50	Melf 0,9	0,489	6,7	4
5	450	1600	50	50	Sika 1,5	0,5	8	5
6	400	1600	50	100	Melf 0,9	0,61	7,6	7
7	400	1600	50	100	Sika 1,5	0,692	9,8	4
8	350	1600	50	150	Sika 1,5	0,78	5,6	2
9	300	1600	50	200	Melf 0,9	0,72	5,1	8
10	300	1600	50	200	Sika 2,0	0,72	7,4	10

Данные по прочности самоуплотняющегося мелкозернистого бетона приведены на диаграмме (рис. 3).

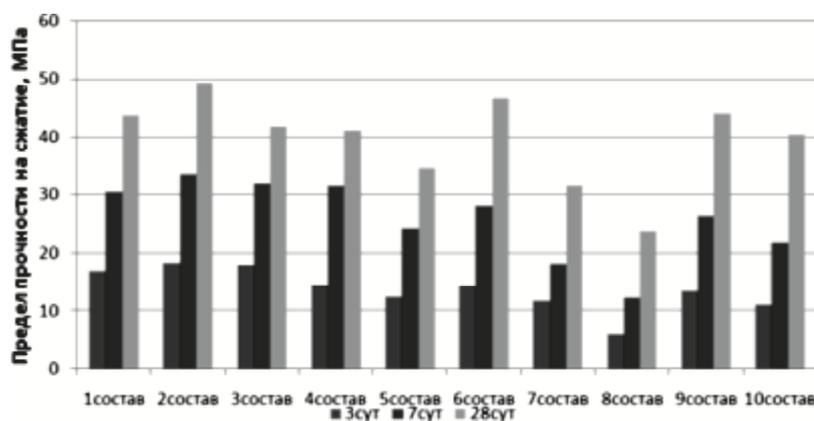


Рис. 3. Прочность на сжатие СУБ различных составов

Из рис. 3 видно, что максимальная прочность в марочном возрасте наблюдается у 2 состава (49 МПа), объясняется такая прочность низким расходом воды, большим расходом цемента и применением микрокремнезема в качестве наполнителя, который улучшает микроструктуру цементного камня. Минимальная прочность у 8 состава и составляет 28 МПа, это связано с высоким В/Ц. Так же высокая прочность наблюдается у 9 состава. Это объясняется низким воздухововлечением смеси и высоким расходом наполнителей. Состав 6 показывает высокую прочность благодаря относительно низкому В/Ц и, возможно, близким к оптимальному, количеством наполнителя в составе.

Расчетные параметры, характеризующие строение порового пространства образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Водопоглощение и показатели пористости СУБ

№ состава	Водопоглощение образцов, %, через				$\frac{W_{t=0,25}}{W_{max}}$	$\frac{W_{t=1}}{W_{max}}$	Показатели пористости	
	0,25 ч ($W_{t=0,25}$)	1 ч ($W_{t=1}$)	24 ч	7сут (W_{max})			λ	α
3	2,02	3,23	5,9	6,32	0,32	0,51	0,68	0,4
4	2,65	4,19	6,7	6,98	0,38	0,60	0,90	0,35
5	2,38	3,49	6,57	7,27	0,33	0,48	0,65	0,35
6	1,64	2,74	5,34	5,89	0,28	0,47	0,60	0,52
7	1,73	2,73	6,62	7,77	0,22	0,35	0,45	0,45
8	3,10	6,5	11,46	11,92	0,26	0,55	0,8	0,72
9	1,83	3,53	4,97	5,37	0,34	0,66	1,15	0,72
10	1,78	3,41	5,05	7,38	0,24	0,46	0,58	0,55

Максимальное водопоглощение у состава № 8 вызвано тем, что данный состав имеет больший расход воды при приготовлении, а самое низкое водопоглощение у состава № 9, связано с низким воздухововлечением и низкой водопотребностью бетонной смеси.

В табл. 2 приведены экспериментальные данные о показателях пористости образцов составов из табл. 1. Из данных приведенных в табл. 2, следует:

а) наибольшую интегральную (кажущуюся) пористость имеют образцы 8 состава ($W_{max} = 11,92 \%$), а наименьшую образцы 9-го состава ($W_{max} = 5,37 \%$);

б) наибольший средний радиус капилляров – у образцов самоуплотняющегося бетона 9 состава ($\lambda = 1,15$), а наименьший – у 7 состава;

в) наиболее однородным по размерам пор являются образцы бетона 8 и 9 состава ($\alpha = 0,72$), соответственно наименее однородными были образцы состава № 4 и 5 ($\alpha = 0,35$).

Снижение пористости самоуплотняющегося бетона позволит использовать его в ответственных конструкциях, к которым предъявляются требования по водонепроницаемости и морозостойкости.

Заключение

Повышенной прочностью (49 МПа) обладает состав с максимальным расходом цемента в 550 кг/м^3 и добавлением микрокремнезема и составы с низкими В/Ц (41 МПа). Состав со сниженным расходом цемента (400 кг/м^3) и использованием известняковой муки обладает высокой прочностью в 46 МПа. Так же, близкими к контрольному составу по прочности являются СУБ с минимальным содержанием цемента (300 кг/м^3), что вызвано увеличением модуля крупности песка.

Таким образом, удалось разработать состав класса В30 с расходом 300 кг/м^3 , который не уступает по прочностным характеристикам составу с расходом в 550 кг/м^3 . Но для получения такого бетона требуется использовать фракционированный песок и сочетание известняковой муки и микрокремнезема.

Снижение расхода цемента и добавление известняковой муки позволило снизить и себестоимость самоуплотняющегося бетона, что неизменно увеличивает интерес предприятий строительной индустрии к полученному материалу.

Список библиографических ссылок

1. Okamura Hajime, Ouchi Masahiro Self – Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology, vol. 1, 2003, № 1. – P. 5-15.
2. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self compacting concrete, a shear thickening material // Cement and Concrete Research, 2008, (38), № 7. – P. 920-929.
3. Аленкар Р., Маркон Ж., Хелене П. Экономичное жилье из СУБ // СРІ – Международное бетонное производство, 2010, № 6. – С. 142-147.
4. Дятлов А.К. Мелкозернистый самоуплотняющийся бетон с комплексной наносодержащей добавкой: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технол. наук (05.23.05) / Алексей Константинович Дятлов: МГСУ. – М., 2013. – 19 с.
5. Оrentлихер Л.П. XXI век – век легких бетонов // Актуальные проблемы современного строительства: Материалы Всероссийской 31-й научно-технической конференции, 25-27 апреля, 2001, ч. 4. Строительные материалы и изделия. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2001. – С. 76-77.
6. Батудаева А.В., Кардумян Г.С., Каприелов С.С. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей // Бетон и железобетон: науч.-техн. и произв. журн., 2005, № 4. – С. 23.
7. Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г., Авксентьев В.И., Мугинов Х.Г. Влияние компонентов песчаного бетона на воздухоовлечение при его приготовлении // Известия КГАСУ, 2011, № 3 (17). – С. 31-34.
8. Баженов Ю.М., Демьянов В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. // Научное издание. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.

Galeev A.F. – student

E-mail: ayzat-galeev@rambler.ru

Morozov N.M. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: nikola_535@mail.ru

Borovskikh I.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: borigor83@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Reduction of consumption of cement in self-compacting fine-grained concrete

Resume

The use of self-compacting concrete instead of the ordinary at present is very limited. Despite the high technological level, comprehensive economic efficiency, this material is not used due to its high cost of materials relative to ordinary concrete in 1,4-1,5 times. The price rises due to increased cost of cement. In the study the task of reducing the cost of cement in self-compacting concrete while maintaining the basic strength and performance of ordinary concrete. Thus, managed to develop a composition class B30 with the consumption of 300 kg, which is not inferior in strength properties to the composition with the consumption of 550 kg/m³. But to get such concrete requires the use of graded sand and the combination of limestone powder and silica fume.

The reduction of cement consumption and addition of limestone powder helped to reduce the cost of self-compacting concrete, which invariably increases the interest of enterprises in the construction industry to the material.

Keywords: self-compacting concrete, reduces the consumption of cement, filler, strength.

Reference list

1. Hajime Okamura, Masahiro Ouchi, Self-Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology, vol. 1, 2003, № 1. – P. 5-15.
2. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self compacting concrete, a shear thickening material // Cement and Concrete Research, 2008, (38), № 7. – P. 920-929.
3. Alencar R., Marcon J., Helene P. Economical housing SUB // CPI – concrete plant International, 2010, № 6. – P. 142-147.
4. Dyatlov A.K. a fine-Grained self-compacting concrete with integrated nanomaterial Supplement: author. dis. for the sausage. exercises. step. candidate. Indus. Sciences (05.23.05) / Alexey Konstantinovich woodpeckers: MGSU. – M., 2013. – 19 p.
5. Orentlikher L.P. XXI century is the century of lightweight concrete. Actual problems of modern construction: proceedings of the 31st scientific and technical conference, April 25-27, 2001. Stroitelnye materialy i izdeliya. – Penza: publishing house of PGASA, 2001. – P. 76-77.
6. Batudaev A.V., Karaduman G.S., Kaprielov S.S. High-Strength modified concrete of self-compacting mixtures.. Beton i zhelezobeton: scientific.-tech. and prod. phys., 2005, № 4. – P. 23.
7. Morozov N.M., Borovskikh I.V., Khozin V.G., Avksentyev I.V., Muginov H.G. The Influence of components on the sandy concrete of vostokovedenie for cooking // Izvestiya KGASU, 2011, № 3 (17). – P. 31-34.
8. Bazhenov Yu.M., Demyanov V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concrete. Scientific edition. – M.: Publishing house Associaciya stroitelnuh vuzov, 2006. – 368 p.