

Применение отсевов дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах

*К.т.н., доцент Н.М. Морозов;
аспирант В.И. Авксентьев;
к.т.н., старший преподаватель И.В. Боровских;
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой В.Г. Хозин,
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»*

: самоуплотняющийся бетон; отсев дробления щебня;
суперпластификаторы; наполнители; прочность

Рациональное использование ресурсов является одной из важнейших задач промышленности строительных материалов. Применение отходов различных производств в составе тяжелых бетонов позволяет не только утилизировать отходы, но и повышать физико-механические характеристики или экономические показатели бетонов [1].

Отсевы дробления при производстве щебня относятся к крупнотоннажным отходам промышленности. Отсевы дробления применяются в настоящее время как заполнители в составе цементных бетонов [2, 3] или при дополнительной обработке в качестве минеральных добавок [4, 5]. Применение отсевов без дополнительной обработки в качестве заполнителей позволяет снизить себестоимость бетона [6], но это эффективно только в низкомарочных бетонах, так как гранулометрический состав отсевов далек от оптимального. При производстве высокомарочных бетонов отсевы дробления необходимо дополнительно обогащать или размалывать до получения качественных минеральных добавок.

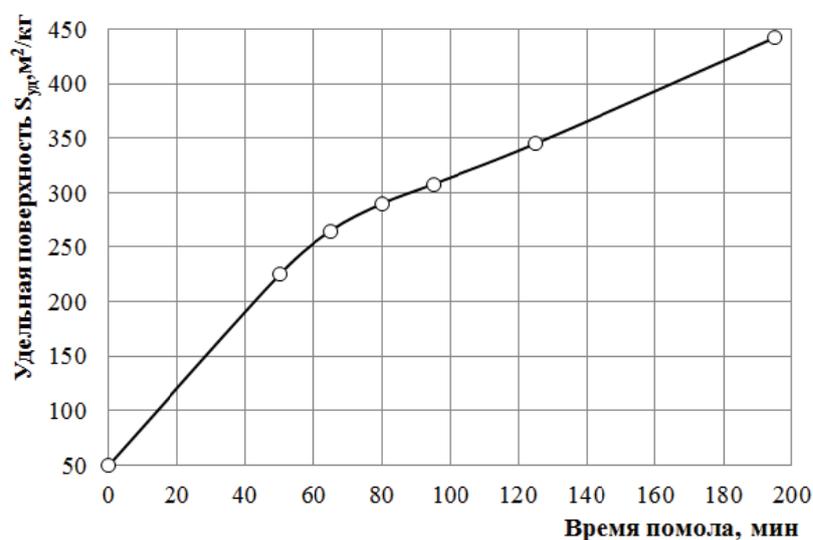
По объему применения минеральных добавок первое место среди цементных бетонов занимают самоуплотняющиеся бетоны. Для получения самоуплотняющихся бетонов (СУБ) необходимо введение большого количества наполнителя для увеличения объема цементного теста [7–9]. Реологической матрицей СУБ, обеспечивающей свойства упруго-вязкого пластического тела, является цементное тесто, увеличение доли которого для обеспечения текучести связано с повышением расхода цемента и снижением экономических показателей производства бетона. Использование наполнителей и эффективных пластификаторов позволяет увеличить текучесть цементного теста, снизить расход воды и повысить прочность бетона [10–13].

Выбор наполнителей является сложной задачей, так как помимо их гранулометрического состава важными являются их химическая природа и стоимость [14–17]. В настоящее время в качестве наполнителей в составе СУБ в основном используют золы [18], микрокремнезем [7] и молотые шлаки [7, 8]. Данные наполнители имеют высокую удельную поверхность и значительную стоимость, иногда превышающую стоимость портландцемента. С экономической стороны наиболее предпочтительно применение в качестве наполнителей отсевов дробления, образующихся при производстве заполнителей. Отсевы дробления щебня по химической природе близки к основным компонентам бетона и не вызывают его коррозии, что позволяет предположить их достаточную эффективность в составе самоуплотняющихся бетонов. Поэтому целью данной работы стала разработка самоуплотняющегося бетона с применением отсевов дробления щебня. В качестве отсева дробления была использована песчано-щебеночная смесь (ПЩС) предприятия ООО «Миньярский карьер», образующаяся при дроблении щебня. Основные свойства ПЩС представлены в таблице 1.

На первом этапе ПЩС подвергалась предварительному дроблению ввиду слишком большой крупности зерен исходного материала. Дробление производили в лабораторной щековой дробилке 100x200 (ДхШ) до размеров частиц менее 1,25 мм (удельная поверхность $S_{уд}=50\text{м}^2/\text{кг}$). На втором этапе производили помол в вибрационно-шаровой мельнице СВМ-3 (производитель ООО «Опытный завод со специальным бюро», Москва). Оценку размолоспособности материала производили по изменению удельной поверхности с течением времени помола и по гранулометрическому составу материала различной удельной поверхности (рис. 1).

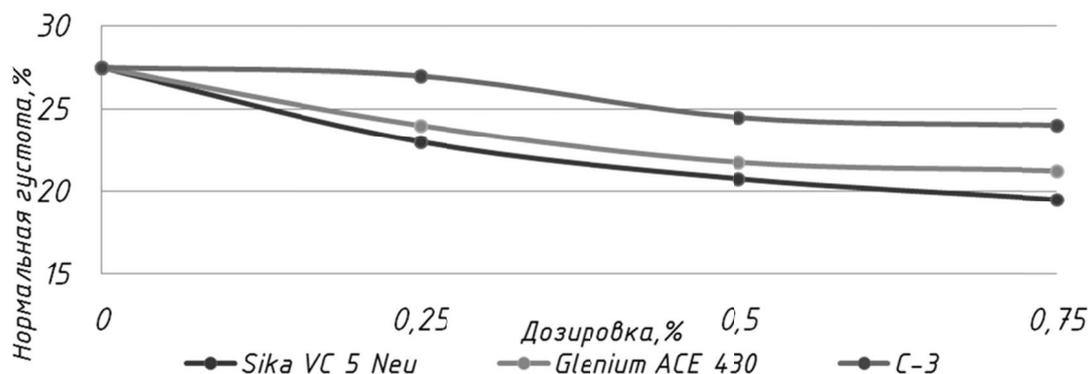
Таблица 1. Физико-технические свойства ПЩС

<i>l</i>				
1	Содержание фракций 5...10 мм	%	9,2	
2	Истинная плотность	кг/м ³	2690	
3	Насыпная плотность	кг/м ³	1720	
4	Фракционный состав, сито, мм	%	Частные остатки	Полные остатки
	2,5		31,9	31,9
	1,25		16,6	48,5
	0,63		16,8	65,3
	0,315		9,7	75,0
	0,14		4,4	79,4
< 0,14	20,6			
5	Модуль крупности	-	3,0	
6	Пустотность	%	36	



1.

При изготовлении самоуплотняющегося бетона важен выбор суперпластификатора [15, 16]. В качестве суперпластификатора для самоуплотняющихся бетонов обычно используют добавки на основе поликарбоксилатов, отличающихся не только большей водоредуцирующей способностью (рис. 2). Как видно из рисунка 2, все добавки на основе поликарбоксилатов (Sika VC 5, Glenium ACE 430) по снижению расхода воды превосходят суперпластификатор С-3.

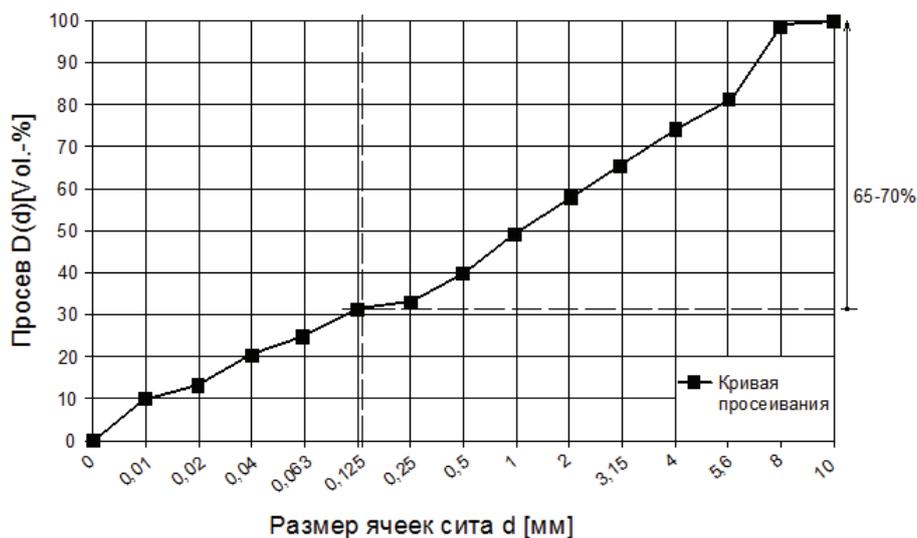


2.

Это объясняется разным механизмом действия добавок. Добавки на нафталин-формальдегидной основе (С-3) вызывают эффект электростатического отталкивания, отодвигая молекулы воды от частиц цемента, а поликарбоксилаты обладают стерическим эффектом – вызывают проскальзывание. Предпочтение в выборе той или иной добавки, разумеется, зависит не от ее названия или механизма действия, а определяется двумя основополагающими факторами – эффективностью и стоимостью.

Следующим этапом исследования было определение оптимальной дозировки наполнителя. Так как самоуплотняющийся бетон, помимо высокой подвижности, должен обладать еще низкой расслаиваемостью [22, 23], то в качестве химической добавки использовали не чистый поликарбоксилат Sika VC 5 Neu, а его смесь с водоудерживающей добавкой – Sika ViscoCrete 32 SCC (Sika VC32). Эта комплексная добавка, помимо пластифицирующего, обладает стабилизирующим эффектом и предназначена для производства высококачественных бетонных смесей, в том числе самоуплотняющихся с высокой сегрегационной устойчивостью [18].

Гранулометрический состав всех компонентов самоуплотняющейся бетонной смеси должен быть приближен к кривой, обозначенной на рисунке 3.



3.

[7, 18]

Как видно из рисунка 3, количество заполнителя с крупностью более 5 мм должно быть менее 900 кг/м^3 , мелкого заполнителя – не менее 750 кг/м^3 и наполнителей – не менее 100 кг/м^3 .

Таблица 2. План-матрица и результаты двухфакторного эксперимента

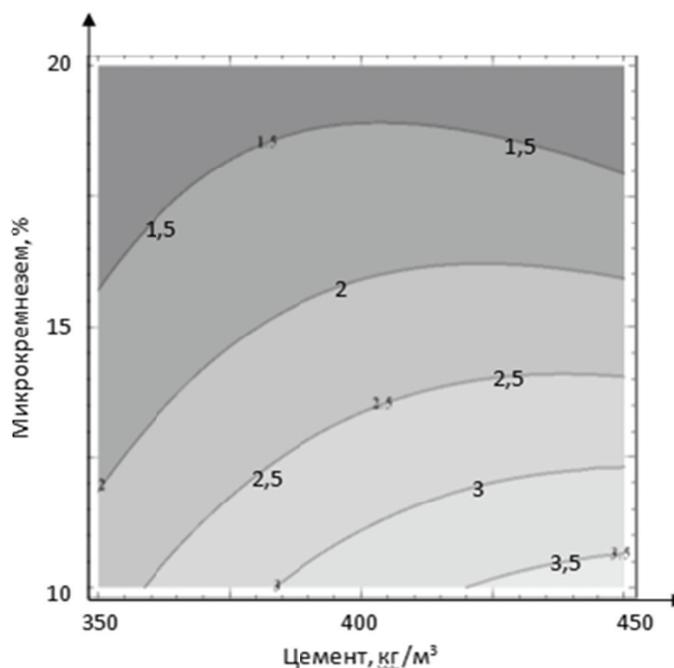
	X_1		X_2		500,	,	,%
	,		,%				
		.		.			
1	-1	350	-1	10	2,5	189	4,6
2	-1	350	0	15	1,5	201	5,5
3	-1	350	+1	20	1	214	4,1
4	0	400	+1	20	1,5	237	3,3
5	+1	450	+1	20	1,0	200	4,8
6	+1	450	0	15	2,0	193	4,7
7	+1	450	-1	10	4,0	171	5,4
8	0	400	-1	10	2,8	187	4,5
9	0	400	0	15	2,5	196	4,9

$$R_{T^{500}} = 4 - 0,8x_1 + 1,2x_2 - 2,3x_1^2 - 0,38x_2^2 + 2,15x_1x_2 \quad (1)$$

Морозов Н.М., Авксентьев В.И., Боровских И.В., Хозин В.Г. Применение отсевов дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах

Подвижность бетонных смесей напрямую зависит от расхода цемента в их составе [19, 20]. В связи с этим количество наполнителя подбирали при разных расходах цемента. Подвижность СУБ, как и обычной бетонной смеси, зависит от напряжения сдвига и вязкости смеси [21]. Нами было исследовано влияние расхода вяжущего и наполнителя на вязкость бетонной смеси. Показатель вязкости определялся с помощью косвенного метода Т500, используемого для самоуплотняющихся бетонов. Суть этого метода заключается в определении времени истечения бетонной смеси из перевернутого стандартного конуса. В исследованиях мы использовали двухфакторный метод математического планирования эксперимента. План эксперимента представлен в таблице 2, зависимость показателя Т500 от расхода цемента и наполнителей описывается по формуле (1). Расплыв конуса самоуплотняющихся смесей в эксперименте находился в интервале 65–70 см.

Из рисунка 4 видно, что увеличение расхода наполнителя приводит к уменьшению времени истечения бетонной смеси, и соответственно, к снижению ее вязкости. С увеличением расхода цемента с 350 до 450 кг/м³ вязкость увеличивается незначительно. Также следует отметить, что расход воды в бетонной смеси напрямую влияет на показатели истечения суспензии из конуса. С ее увеличением вязкость снижается, однако это приводит к снижению и прочности бетона. Поэтому для регулирования вязкости и, следовательно, улучшения свойств самоуплотняющегося бетона нужно изменять дозировку наполнителей: чем больше наполнителя, тем меньше время истечения бетонной смеси. Как видно из рисунка 4, за начальный расход цемента можно принять 400 кг/м³, а расход наполнителя должен быть более 15% от массы цемента.



4. ()

Далее в качестве наполнителя был использован тонкомолотый отсев дробления щебня – песчано-щебеночная смесь (ПЩС). ПЩС размалывали до удельной поверхности 250–300 м²/кг. При большей удельной поверхности значительно возрастает водопотребность бетонных смесей и снижается прочность бетона. При меньшей удельной поверхности увеличивается водоотделение самоуплотняющейся бетонной смеси. В дополнение к молотой ПЩС добавляли микрокремнезем в количестве 10% от массы цемента, так как он снижает расслаиваемость и повышает прочность бетона.

Для оценки свойств самоуплотняющегося бетона был использован следующий состав: расход цемента в составе бетона принят 400 кг/м³, расход микрокремнезема – 40 кг/м³, расход молотой ПЩС (МПЩС) – 70 кг/м³. В составе бетона были использованы цементы ЦЕМ I 42,5Б двух заводов – Мордовского и Стерлитамакского. Состав самоуплотняющегося бетона определялся экспериментально (табл. 3).

Таблица 3. Составы самоуплотняющихся бетонных смесей

	, / ³							
	()	()					SikaVC 32	
1	400		40	70	900	800	6	215
2	400		40	70	900	800	6	197
3		400	40	70	900	800	6	192
4		400	40	70	900	800	6,8	194
5	360		40	110	900	800	6,2	187

Морозов Н.М., Авксентьев В.И., Боровских И.В., Хозин В.Г. Применение отсевов дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах

Таблица 4. Свойства самоуплотняющейся бетонной смеси и бетона

							28
	/		- / 3'	- ,%	-		
1	0,53	73	2356	3,6	-	42,9	55,7
2	0,49	68	2304	4,3	-	43,8	58,5
3	0,49	63	2236	5,9	+	34,1	44,5
4	0,48	69	2310	4,6	-	39,8	53,6
5	0,52	65	2292	4,5	-	38,7	52,8

Как видно из таблицы 4, получен состав СУБ с распылом конуса 73 см и прочностью 55,7 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения. Во втором составе таблицы 4 был снижен расход воды и получен СУБ с распылом 68 см, при этом прочность возросла незначительно. При замене Мордовского цемента на Стерлитамакский распыл конуса составил 63 см, но бетонная смесь расслаивалась (табл. 4, состав 3) и прочность значительно снизилась. Для снижения расслаиваемости был увеличен расход суперпластификатора до 6,8 кг/м³, и распыл бетонной смеси составил 69 см при сохранении стабильности смеси (табл. 4, состав 4). Такое увеличение расхода суперпластификатора связано с большим содержанием трехкальциевого алюмината в составе Стерлитамакского цемента (7–8%), в то время как в Мордовском цементе его содержание меньше (5–5,5%). С увеличением трехкальциевого алюмината расход суперпластификатора увеличивается, так как именно этот минерал в большей степени адсорбирует на себе молекулы суперпластификатора [23, 24].

По данным таблицы 4 можно видеть, что предпочтительным по технологическим свойствам является состав самоуплотняющегося бетона №1, обладающий самым большим распылом конуса и низким воздухововлечением. С экономической точки зрения более предпочтительным является состав №5, так как увеличение доли МПЩС позволило снизить расход цемента на 10% при сохранении распыла конуса 65 см и прочности на сжатие более 50 МПа.

Выводы

По результатам исследований установлена возможность использования отходов дробления щебня в качестве наполнителей для самоуплотняющихся бетонов. В составе СУБ отходы дробления использовали совместно с микрокремнеземом, что позволило получить высокие технологические свойства смеси и прочностные свойства затвердевшего бетона. В рамках работы показано, что увеличение расхода цемента и количества наполнителя в самоуплотняющихся бетонах ведет к снижению вязкости бетонной смеси. Авторами установлено, что при дозировке наполнителя более 15% от массы цемента вязкость уже практически не зависит от расхода цемента. При использовании тонкомолотых отходов дробления щебня прочность самоуплотняющихся бетонов достигает 58,5 МПа при расходе цемента 400 кг/м³, что сравнимо с известными составами СУБ на других наполнителях [8, 17]. Стоит отметить, что в результате совместного использования микрокремнезема и МПЩС был получен состав СУБ с низким расходом цемента (360 кг/м³) и прочностью более 50 МПа, что превосходит известные результаты [7, 8]. Таким образом, разработаны самоуплотняющиеся бетоны с применением отсевов дробления щебня ООО «Миньярский карьер».

1. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов // Строительные материалы. 2008. №3. С. 20–22.
2. Трамбовецкий В.П., Бабаев Ш.Т. Мировая тенденция использования вторичных продуктов и техногенных отходов в производстве цемента и бетона // Бетон и железобетон. 1994. №5. С. 23–26.
3. Лазуткин А.В., Эйрих В.И., Жуков В.П. Использование отсевов дробления важный фактор экономического роста предприятий нерудной промышленности // Строительные материалы. 2003. №11. С. 6–8.
4. Артамонов В.А., Воробьев В.В., Свитов В.С. Опыт переработки отсевов дробления // Строительные материалы. 2003. №6. С. 28–29.

5. Морозов Н.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Сравнительная оценка мельниц по размолоспособности кварцевого песка и его эффективности в цементных бетонах // Известия КазГАСУ. 2011. №1. С. 177–181.
6. Харо О.Е., Левкова Н.С., Лопатников М.И., Горностаева Т.А. Использование отходов переработки горных пород при производстве нерудных строительных материалов // Строительные материалы. 2003. №9. С. 18–19.
7. Paratibha aAggarwal, Rafat Siddique, Yogesh aAggarwal, Surinder M. gGupta. Self-Compacting Concrete – Procedure for Mix Design // Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. 2008. Issue 12. Pp. 15–24.
8. Mazzotti C., Savoia C. An Experimental Campaign on the Long-Term Properties of Self Compacting Concrete // Advances in Structural Engineering. 2012. Vol. 15. No. 7. Pp. 1155–1166.
9. Lanier M. Interim Guidelines for the Use of Self-Consolidating Concrete in PCI Member Plants // PCI Journal. 2003. Vol. 48, No.3. Pp. 14–18.
10. Roncero J., Gimenez V., Corradi M. What Makes More Effective Polycarboxylates Comparing to Lignosulphonates? Differences on Adsorption Mechanisms // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. Pp. 342–355.
11. Sudarsana Raoet H. [et al]. Strength and Workability Characteristics of Flya Ash based Glass Fibre reinforced High-Performance-Concrete // International Journal of Engineering Science and Technology. 2011. Vol. 3. Issue 8. Pp. 6266–6277.
12. Spiratos N., Page M., Mailvaganam N.P., Malhotra V.M., Jolicoeur C. Superplasticizers for Concrete. Fundamentals, Technology and Practice. Ottawa, Canada: Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development, 2003. 322 p.
13. Gyuyong Kim, Euibae Lee, Kyungmo Koo. Hydration Heat and Autogenous Shrinkage of High-Strength Mass Concrete // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2009. Vol. 8. No.2. Pp. 509–516.
14. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы. 2010. №9. С. 72–73.
15. Mustafa Sahmaran, Heru Ari Christianto, Ismail Ozgur Yaman. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars // Cement and Concrete Composites. 2006. Vol. 28. Pp. 462–440.
16. Морозов Н.М., Морозова Н.Н. Исследование долговечности модифицированных бетонов для монолитного строительства // Известия КазГАСУ. 2012. №4. С. 312–318.
17. Mucteba Uysal, Kemalletin Yilmaz. Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete // Cement and Concrete Composites. 2011. Vol. 33. No.7. Pp. 771–776.
18. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. Vol. 1. No.1. Pp. 5–15.
19. Зоткин А.Г., Саенко П.А. Прогнозирование прочности бетона с суперпластификаторами с учетом эффекта объема цементного камня // Бетон и железобетон. 2008. №4. С. 14–16.
20. Вовк А.И. Суперпластификаторы в бетоне: анализ химии процессов. Часть 1 // Технологии бетонов. 2007. №2. С. 8–10.
21. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н., Хетагуров Б.А. Самоуплотняющиеся бетоны: некоторые факторы, определяющие текучесть смеси // Строительные материалы. 2009. №3. С. 54–57.
22. Василик П.Г., Голубев И.В. Стабилизаторы для самоуплотняющихся бетонов и самовыравнивающихся масс // Технология бетонов. 2006. №6. С. 27–29.
23. Koizumi K., Umemura Y., Tsuyuki N. Effects of Chemical Admixtures on the Silicate Structure of Hydrated Portland Cement. Differences on Adsorption Mechanisms // Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement. Montreal, 2007. Pp. 64–71.
24. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: «Технопроект», 1998. 768 с.

*Морозов Николай Михайлович, г. Казань, Россия
+7(903)314-42-26; эл. почта: nikola_535@mail.ru*

*Авксентьев Владислав Игоревич, г. Казань, Россия
+7(843)510-47-34; эл. почта: nikola_535@mail.ru*

*Боровских Игорь Викторович, г. Казань, Россия
+7(843)510-47-34; эл. почта: borigor83@list.ru*

*Хозин Вадим Григорьевич, г. Казань, Россия
+7(843)238-39-13; эл. почта: Khozin@ksaba.ru*

© Морозов Н.М., Авксентьев В.И., Боровских И.В., Хозин В.Г., 2013

Морозов Н.М., Авксентьев В.И., Боровских И.В., Хозин В.Г. Применение отсевов дробления щебня в самоуплотняющихся бетонах

doi: 10.5862/MCE.42.4

Use of wastes of rubble crushing in self-compacting concrete

N.M. Morozov

*Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
+7(903)314-42-26; e-mail: nikola_535@mail.ru*

V.I. Avksentiev

*Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
+7(843)510-47-34; e-mail: nikola_535@mail.ru*

I.V. Borovskikh

*Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
+7(843)510-47-34; e-mail: borigor83@list.ru*

V.G. Khozin

*Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
+7(843)238-39-13; e-mail: Khozin@ksaba.ru*

Key words

self-compacting concrete; waste of rubble crushing; superplasticizer; filler; strength

Abstract

Use of wastes of rubble crushing in the concrete structure allows improving physical and mechanical properties and resolving the issue of recycling. Their use as fillers in self-compacting concrete will reduce costs and improve the economic attractiveness of this material.

In the course of the research the compounds of self-compacting concrete with the use of waste powder of rubble crushing were obtained. For such concretes the optimal superplasticizer, featuring additional stabilizing effect that allows obtaining a homogeneous concrete mix, was selected. The results of the study show the relation between cement consumption and viscosity of concrete mix; the dependence of the superplasticizer consumption on the cement type.

Application of waste powder can reduce the consumption of silica fume in the composition of self-compacting concrete and achieve strength 58,5 MPa at a rate of 400 kg /m³.

References

1. Kalashnikov V.I. *Construction Materials*. 2008. No.3. Pp.20–22. (rus)
2. Trambovetskiy V.P., Babaev Sh.T. *Beton i zhelezobeton*. 1994. No.5. Pp. 23–26. (rus)
3. Lazutkin A.B., Eirikh V.I., Zhukov V.P. *Construction Materials*. 2003. No.11. Pp. 6–8. (rus)
4. Artamonov V.A., Vorobtev V.V., Svitov B.C. *Construction Materials*. 2003. No.6. Pp. 28–29. (rus)
5. Morozov N.M., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. *News of KSUAE*. 2011. No.1. Pp. 177–181. (rus)
6. Kharo O.E., Levkova N.S., Lopatnikov M.I., Gornostaeva T.A. *Construction Materials*. 2003. No.9. Pp. 18–19. (rus)
7. Paratibha AGGARWAL, Rafat SIDDIQUE, Yogesh AGGARWAL, Surinder M GUPTA Self-Compacting Concrete – Procedure for Mix Design. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. 2008. Issue 12. Pp. 15–24. (rus)
8. Claudio Mazzotti, Marco Savoia An Experimental Campaign on the Long-Term Properties of Self Compacting Concrete. *Advances in Structural Engineering*. 2012. Vol. 15 No.7. Pp. 1155–1166.
9. Michael Lanier Interim Guidelines for the Use of Self-Consolidating Concrete in PCI Member Plants. *PCI Journal*. 2003. Vol. 48. No.3. Pp. 14–18.
10. Roncero J., Gimenez V., Corradi M. What Makes More Effective Polycarboxylates Comparing to Lignosulphonates? Differences on Adsorption Mechanisms. *Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement*. Montreal, 2007. Pp. 342–355.
11. Sudarsana Rao H. [et al]. Strength and Workability Characteristics of Fly Ash based Glass Fibre reinforced High-Performance-Concrete. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2011. Vol. 3. No.8. Pp. 6266–6277.
12. Spiratos N., Page M., Mailvaganam N.P., Malhotra V.M., Jolicoeur C. *Superplasticizers for Concrete. Fundamentals, Technology and Practice*. Ottawa, Canada: Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development, 2003. 322 p.

Morozov N.M., Avksentiev V.I., Borovskikh I.V., Khozin V.G. Use of wastes of rubble crushing in self-compacting concrete

13. Gyuyong Kim, Euibae Lee, Kyungmo Koo Hydration Heat and Autogenous Shrinkage of High-Strength Mass Concrete. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2009. Vol. 8. No.2. Pp. 509–516.
14. Morozov N.M., Khozin V.G., Muginov Kh.G. *Construction Materials*. 2010. No.9. Pp. 72–73. (rus)
15. Mustafa Sahmaran , Heru Ari Christianto, Ismail Ozgur Yaman The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement and Concrete Composites*. 2006. Vol. 28. Pp. 462–440.
16. Morozov N.M., Morozova N.N. *News of KSUAE*. 2012. No.4. Pp. 312–318. (rus)
17. Mucteba Uysal, Kemallettin Yilmaz. Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2011. Vol. 33. No.7. Pp. 771–776.
18. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. Vol. 1. No.1. Pp. 5–15.
19. Zotkin A.G., Saenko P.A. *Beton i zhelezobeton*. 2008. No.4. Pp. 14–16. (rus)
20. Vovk A.I. *Tekhnologii betonov*. 2007. No.2. Pp. 8–10. (rus)
21. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N., Khetagurov B.A. *Construction Materials*. 2009. No.3. Pp. 54–57. (rus)
22. Vasilik P.G., Golubev I.V. *Tekhnologii betonov*. 2006. No.6. Pp. 27–29. (rus)
23. Koizumi K., Umemura Y., Tsuyuki N. Effects of Chemical Admixtures on the Silicate Structure of Hydrated Portland Cement. Differences on Adsorption Mechanisms. *Proceedings of the 12th International Congress on the Chemistry of Cement*. Montreal, 2007. Pp. 64–71.
24. Batrakov V.G. *Modifitsirovannyye betony. Teoriya i praktika* [Modified concrete. Theory and practice]. Moscow: Tekhnoproekt, 1998. 768 p. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 26–31