

УДК 691.327:666.97

Авксентьев В.И. – аспирант

E-mail: vlad80889@yandex.ru

Морозов Н.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: nikola_535@mail.ru

Хозин В.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: khozin@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Шлам химической водоочистки – эффективный наполнитель в самоуплотняющихся песчаных бетонах

Аннотация

Применение самоуплотняющихся бетонов в современном строительстве обусловлено снижением энергозатрат при производстве железобетонных конструкций и повышении их качества. В статье показано влияние расхода цемента и наполнителя на вязкость самоуплотняющейся бетонной смеси, определены оптимальные содержания мелкодисперсных добавок в составе бетона. Доказана возможность использования шлама химической водоочистки в качестве наполнителя и получены составы самоуплотняющегося песчаного бетона с высокими эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: самоуплотняющийся песчаный бетон, отход химической водоочистки, наполнитель, водоотделение и вязкость смеси, прочность бетона.

Среди наиболее значимых достижений строительных технологий XX века, по мнению большинства известных специалистов, приоритет принадлежит самоуплотняющемуся бетону – СУБ (Self Compacting Concrete) [1], отличительной особенностью которого является способность самопроизвольно, лишь под собственным весом свободно растекаться и заполнять формоснастку [2].

В 1986 году в Японии началось развитие высокоподвижных СУБ, а в 1999 году состоялся первый международный конгресс по самоуплотняющимся бетонам в Стокгольме. К 2003 году был издан нормативный документ «DAfStb-Richtlinie Selbverdichtender Beton (SVB-Richtlinie)», в котором изложены термины и связи с другими европейскими нормативными документами, а также методы диагностики самоуплотняющегося бетона. В настоящее время самоуплотняющиеся бетоны получили широкое развитие в ряде стран Европы, в США и Японии [3].

Отличительной особенностью СУБ является их гранулометрический состав, начиная с цемента и порошкообразных наполнителей и кончая зерновым составом заполнителей [2]. Высокая подвижность СУБ обусловлена повышенным содержанием цементного теста, и использованием в составе высокоэффективных разжижителей.

Большой расход цемента и наполнителей и, безусловно, суперпластификаторов, а также повышенным требованиям к качеству заполнителей вызывают сомнения у ряда специалистов в эффективности широкого применения СУБ в бетонном строительстве, ограничивая его теми случаями, когда применение вибрированного бетона затруднительно или невозможно [3]. Однако богатый и успешный опыт применения самоуплотняющегося бетона, для производства сборных железобетонных изделий в Голландии (до 80 % от всего объема [1]) позволяет надеяться на его широкое распространение в строительной индустрии России, поскольку позволяет кардинально изменить саму организацию производства, сделав его метало-, энергосберегающим, с улучшенными санитарно-гигиеническими условиями труда. Тем не менее, снижение себестоимости СУБ является актуальным вопросом и резервом для этого служит замена крупного заполнителя и порошкообразного наполнителя на доступные местные материалы и крупнотоннажные промышленные отходы. Это позволит получить высокопрочные бетоны не на привозном высокопрочном щебне, а на местных кварцевых песках [4] и решить экологические проблемы утилизации отходов.

В качестве наполнителей для СУБ интерес представляют шламы химводоочистки (ШХВО) тепловых электростанций, хранящихся в огромных количествах в шламонакопителях или на промышленных свалках [5].

ШХВО представляет собой тестообразную массу светло-коричневого цвета, 50-60 % влажности, без запаха. Образуется шлам в результате известкования и коагуляции воды из реки Волга, при добавлении к ней известкового молока и коагулянта – железного купороса. В день образуется около 10-20 тон ШХВО в сутки.

В составе шлама (в пересчете на сухое вещество) содержится 75-85 % CaO (в виде CaCO_3) и 15-25 % FeO в виде $\text{Fe}(\text{OH})_3$ [6]. Благодаря его химическому составу, ШХВО можно использовать взамен известняковых наполнителей, эффективность которых в составе бетонов отмечается рядом работ [7, 8, 9]. Обусловлено это тем, что при гидратации цемента в присутствии известняковых наполнителей происходит химическое взаимодействие трехкальциевого алюмината и карбоната кальция (магния) с образованием гидроалюминатов кальция (магния), что в свою очередь положительно сказывается на прочностных характеристиках цементного камня [10, 11].

В связи с этим целью нашей работы явилась разработка состава самоуплотняющегося песчаного бетона с использованием ШХВО, в качестве наполнителя.

Для изготовления бетонов использовался цемент ПЦ 500 Д0 ОАО «Вольскцемент», добавка суперпластификатор Melflux 2651 F на основе поликарбоксилатов и кварцевый песок с модулем крупности 2,7. ШХВО был высушен и намолот до удельной поверхности $1240 \text{ м}^2/\text{кг}$; для сравнения в качестве наполнителей использовали известняковую «муку» с удельной поверхностью $300 \text{ м}^2/\text{кг}$; микрокремнезем МК-85 с удельной поверхностью $20000 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Исследовано влияние расхода вяжущего и наполнителя на технологические свойства бетонной смеси, а именно водопотребность (В), воздухововлечение (Вв) и вязкость (ν). Последний показатель определялся с помощью косвенного метода Т 500, сущность которого заключается в определении времени истечения бетонной смеси из перевернутого стандартного конуса [3]. В исследованиях использовали математический метод планирования [11]. Границы расходов вяжущего и наполнителей определялись на основе литературных данных [3, 10, 13].

Получены составы самоуплотняющегося песчаного бетона с содержанием цемента 350, 400 и 450 кг.; песка 1680, 1630 и 1580 кг. соответственно и расходом МК-85 в дозировках 10-20 %, от количества цемента в составе бетонной смеси. Использование МК-85, обусловлено тем, что на данный момент этот наполнитель является наиболее распространенным и эффективным среди добавок, используемых в составах СУБ [14].

Таблица 1

План матрица и результаты двухфакторного эксперимента (цемент+микрокремнезем)

№ состава	Факторы				Отклики		
	X ₁		X ₂		v, сек	В, мл	ВВ, %
	Цемент, кг		Микрокремнезем, %				
код	Знач.	код	Знач.				
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

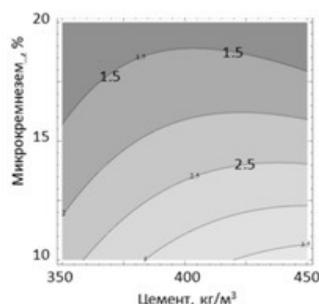
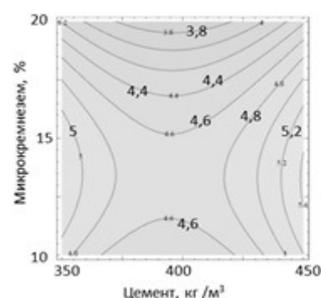
Рис. 1. Изменение вязкости (ν) бетонной смеси (сек.) в области варьируемых факторов

Рис. 2. Изменение воздухоовлечение бетонной смеси (%) в области варьируемых факторов

Из рис. 1 видно, что увеличение содержания расхода наполнителя приводит к уменьшению времени истечения бетонной смеси, а соответственно и к снижению вязкости бетонной смеси. С увеличением расхода цемента с 350-450 кг/м³ вязкость не значительно увеличивается. 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.

Из рис. 2 видно, что количество цемента в самоуплотняющемся песчаном бетоне должно варьироваться в пределах 380-420 кг/м³, в противном случае воздухоовлечением превысит установленные нормативным документом (DAfStb-Richtlinie Selbverdichtender Beton) ограничения.

Таким образом, в результате проведенных исследований были определены составы самоуплотняющегося песчаного бетона. В дальнейших исследованиях микрокремнезем был заменен карбонатными наполнителями такими как известняковая мука и ШХВО. Однако карбонатные наполнители в силу меньшей удельной поверхности, чем у микрокремнезема не позволяли получать бетонную смесь без водоотделения. И для снижения этого показателя в состав бетонной смеси было введено 5 % микрокремнезема. Расход цемента был выбран 380 кг/м³, так он являлся наименьшим из возможных.

В результате удалось получить состав самоуплотняющегося песчаного бетона с расходом цемента 380 кг/м³, высокой подвижностью (72 см), низким воздухоовлечением (менее 3 %) и прочностью 35 МПа. Состав представлен в табл. 2 (3 состав).

Таблица 2

Составы бетонных смесей их технологические и физико-механические свойства

№ состава	1	2	3
Расход компонентов, кг/м ³			
Цемент	380	380	380
Микрокремнезем	-	-	20(5 %)
Известняковая мука	60(15 %)	-	-
Шлам ХВО	-	60(15 %)	60(15 %)
Melflux 2651 F	2,2(0,5 %)	2,2(0,5 %)	2,2(0,5 %)
Песок	1600	1600	1600
Вода	211	211	211
Технологические свойства бетонной смеси			
Распływ конуса, см	64	60	72
Плотность, кг/м ³	2256	2275	2282
Воздуховлечение, %	2,2	3,2	2,9
Водоотделение, %	1,04	1,19	-
Физико-механические свойства бетона на 28 сутки			
Плотность, кг/м ³	2270	2224	2290
Прочность, МПа	32	30	35

Использование двух наполнителей позволяет получать высококачественные бетоны обладающих всеми необходимыми свойствами СУБ, однако определение их оптимальных дозировок в данном составе позволит повысить основные характеристики бетона.

В связи с этим последним этапом наших исследований было определение оптимальных соотношений между ШХВО и микрокремнеземом. Дозировки микрокремнезема варьировались в пределах от 0 до 20 %, а ШХВО вводился в количестве от 0 до 15 %.

Таблица 3

План матрица и результаты двухфакторного эксперимента

№	Факторы				Отклики	
	X ₁ Шлам ХВО, %		X ₂ Микрокремнезем, %		Прочность, МПа, в возрасте, сут	
	код	Знач.	код	Знач.	7 сут	28 сут
1	-1	0	-1	0	17,55	23,35
2	-1	0	0	10	33,33	44,35
3	-1	0	+1	20	32,51	43,65
4	0	7,5	+1	20	33,8	44,95
5	+1	15	+1	20	33,66	44,73
6	+1	15	0	10	27,74	36,9
7	+1	15	-1	0	18,33	24,38
8	0	7,5	-1	0	29,4	39,1
9	0	7,5	0	10	37,4	49,74

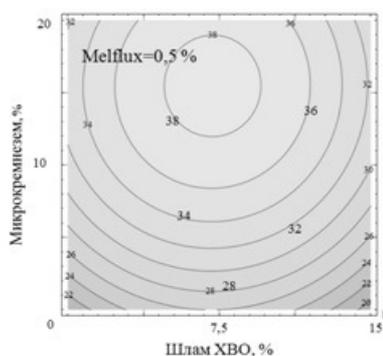


Рис. 3. Изменение прочности при сжатии (МПа) бетона в области варьируемых факторов в возрасте 7 суток

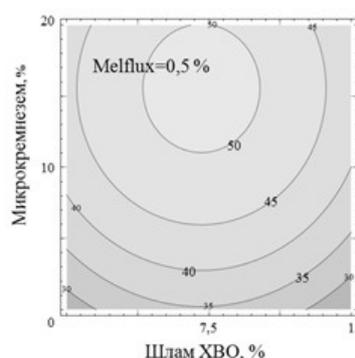


Рис. 4. Изменение прочности при сжатии (МПа) бетона в области варьируемых факторов в возрасте 28 суток

Как видно из рисунков, получены оптимальные соотношения наполнителей в самоуплотняющемся песчаном бетоне при расходе цемента 380 кг/м^3 , песка 1600 кг/м^3 . При этом содержание микрокремнезема составляет 15 %, а ШХВО 7,5 %. Воздуховлечение бетонной смеси не превышает 3 %, расплыв конуса составляет 65-70 см, низкая вязкость смеси не более 1,5 сек и прочность 50 МПа.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно заключить, что использование ШХВО в качестве наполнителя весьма эффективно для самоуплотняющихся песчаных бетонов. Однако превышение оптимальных дозировок наполнителя, приводит к снижению прочности бетона, что связано с увеличением водопотребности смеси.

Список библиографических ссылок

1. Трамбовецкий В.П. Бетон в мире технологий // Технологии бетонов, 2005, № 1. – С. 64-67.
2. Василик П.Г. Стабилизаторы для самоуплотняющихся бетонов и самовыравнивающихся масс // Технологии бетонов, 2006, № 6. – С. 15-18.
3. Болотских О.Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика // Технологии бетонов, 2008, № 10. – С. 28-31.
4. Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г., Авксентьев В.И., Мугинов Х.Г. Влияние компонентов песчаного бетона на воздуховлечение при его приготовлении // Известия КГАСУ, 2011, № 3 (17). – С. 31-34.

5. Марьинских С.Г., Митрофанов Н.Г. Способ утилизации шлама химводоочистки Тюменской ТЭЦ № 2 // *Фундаментальные науки и практика*, 2010, № 4. – С. 26-30.
6. Коренькова С.Ф., Шеина Т.В. Основы и концепция утилизации химических осадков протокатов в стройиндустрии // *Современные проблемы науки и образования*, 2009, № 1. – С. 91.
7. Scazlich M., Roskovi R., Banjad Pelur I. Properties of SCC with high fly ash content // *Gradjevinar*, 2008, № 11. – P. 945-952.
8. Салия М.Г. Выбор добавок – наполнителей для улучшения свойств бетона // *Науковий вісник будівництва*, 2010, № 5. – С. 96-99.
9. Ущеров-Маршак А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы // *Строительные материалы*, 2006, № 10. – С. 8-12.
10. Козлова В.К., Маноха А.М., Лихошерстов А.А., Мануйлов Е.В., Малова Е.Ю.. Влияние карбонатсодержащих добавок на свойства композиционных цементов // *Цемент и его применение*, 2012, № 3. – С. 25-29.
11. Тимашев В.В., Колбасов В.М. Свойства цементов с карбонатными добавками // *Цемент*, 1981, № 10. – С. 10-13.
12. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Изд-во Наука, 1976. – 364 с.
13. Пайерс И., Барбара Х., Барраган Б., Рамос Г. Самоуплотняющийся бетон с мелкоизмельченным карбонатом кальция // *CPI – Международное бетонное производство*, 2012, № 1. – С. 34-38.
14. Шудьяков К.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Мамаев Н.А. Влияние добавки «микркремнезем-поликарбоксилатный суперпластификатор» на гидратацию цемента, структуру и свойства цементного камня // *Цемент и его применение*, 2013, № 3. – С. 114-118.

Avksentev V.I. – post-graduate student

E-mail: vlad80889@yandex.ru

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

E-mail: nikola_535@mail.ru

Khozin V.G. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: khozin@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Sludge of chemical water treatment – effective filler in self-compacting sand concrete

Resume

Self-compacting concrete is one of the modern products of building materials. The peculiarity of this concrete is its high mobility and low stratified mixture. These properties of concrete are due to the use of effective superplasticizers and fillers. To reduce costs by manufacture of self-compacting concrete must be used as fillers waste from different industries. That was done in this study. As filler was selected chemical water treatment sludge thermal power plants, stored in large quantities in the tailings ponds or industrial landfills. In the result of the research was the optimal amount of chemical water treatment sludge as part of self-compacting concrete, providing a minimum viscosity of the mixture and necessary durability of concrete. Also was selected composition sandy self-compacting concrete with application of sludge and microsilica. To determine the optimal number of fillers used a planned two-factor experiment, in which the optimal combination of microsilica and sludge. Microsilica used to improve strength properties and reduce water office developed mixtures. Developed compositions of self-packing mixes have flowability 65-70 cm, the volume of entrained air less than 3 % and the strength of 50 MPa.

Keywords: self-compacting concrete sand, waste water treatment chemical, vehicle, bleeding and viscosity of the mixture, the strength of the concrete.

Reference list

1. Trambovetsky V.P. Concrete in the world of technology // *Technologia betonov*, 2005, № 1. – P. 64-67.
2. Vasilik P.G. Stabilizers for self-compacting concrete and self-leveling // *Technologia betonov*, 2006, № 6. – P. 15-18.
3. Bolotskih O.N. SCC and its diagnostics // *Technologia betonov*, 2008, № 10. – P. 28-31.
4. Morozov N.M., Borovskikh I.V., Khozin V.G., Avksentev V.I., Muginov H.G. Influence of sand concrete components on air entrainment in its preparation // *News of the KSUAE*, 2011, № 3 (17). – P. 31-34.
5. Marinskih S.G., Mitrofanov N.G. Way sludge disposal demineralizer Tyumen CHP № 2 // *Fundamentalnye nauki i praktika*, 2010, № 4. – P. 26-30.
6. Korenkova S.F., Shein T.V. Framework and the concept of disposal of chemical precipitation effluent in construction // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2009, № 1. – P. 91.
7. Scazlich M., Roskovi R., Banjad Pelur I. Properties of SCC with high fly ash content // *Gradjevinar*, 2008, № 11. – P. 945-952.
8. Salia M.G. Choosing supplements – fillers for improving the properties of concrete // *Naukova Visnik budivnitstva*, 2010, № 5. – P. 96-99.
9. Usherov-Marshak A. Concrete admixtures: progress and problems // *Stroitelnye materialy*, 2006, № 10. – P. 8-12.
10. Kozlova V.K., Manoha A.M., Likhosherstov A.A., Manuilov E.V., Malova E.J. The influence carbonate additives on properties of composite cements // *Cement i ego primeneniye*, 2012, № 3. – P. 25-29.
11. Timashev V.V., Kolbasov V.M. Properties of carbonate cements with additives // *Cement*, 1981, № 10. – P. 10-13.
12. Zedginidze I.G. Design of experiments for the study of multicomponent systems. – M.: Publishers in Science, 1976. – 364 p.
13. Piers J., Barbara H., Barragan B., Ramos G. Self compacting concrete with finely divided calcium carbonate // *CPI – Mezhdunarodnoye betonnoye proizvodstvo*, 2012, № 1. – P. 34-38.
14. Shuldyakov K.V., Kramar L.Y., Trofimov B.J., Mamaev N.A. Effect of Additives «fume-polycarboxylate superplasticizer» on cement hydration, structure and properties of cement paste // *Cement i ego primeneniye*, 2013, № 3. – P. 114-118.