



УДК 691.33

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

Авксентьев В.И. – аспирант

E-mail: vlad80889@yandex.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

Исследование эксплуатационных свойств самоуплотняющихся песчаных бетонов

Аннотация

Самоуплотняющиеся песчаные бетоны должны как минимум не уступать по технологическим и эксплуатационно-техническим свойствам бетонам на крупном заполнителе, чтобы найти применение в строительстве. В работе показано, что использование фракционированного песка вместо крупного заполнителя позволяет получить самоуплотняющиеся бетоны с прочностью 50 МПа. Изучены кинетика набора их прочности и основные физико-технические характеристики. Установлено, что использование песка оптимального зернового состава снижает деформации усадки бетона на 15-20 %, а по модулю упругости песчаный самоуплотняющийся бетон сравним с крупнозернистым бетоном.

Ключевые слова: самоуплотняющийся песчаный бетон, усадка, прочность, модуль упругости.

В настоящее время самоуплотняющиеся бетоны получили широкое развитие в ряде стран Европы, США, Японии [1]. Наибольшее распространение этот материал получил при производстве строительных изделий на заводах сборного железобетона. Например, в 50-80 % от общего объема производимых конструкций в Швеции в заводских цехах используется самоуплотняющийся бетон [2]. Связано это с низким уровнем шума в связи с отказом от виброуплотняющегося оборудования, хорошим качеством поверхности готовых изделий, идеальная кромка бетонных элементов, экономия на опалубке [3]. Обычно при производстве ЖБИ для улучшения удобоукладываемости бетонной смеси в формы используются вибраторы, которые служат источником постоянного шума и требуют больших энергозатрат. Вместе с этим использовалась технология пропаривания что также требует значительных затрат. В современных условиях на заводах для производства таких железобетонных изделий, как сваи, балки, опоры, стеновые панели, плиты, трубы и другие изделия, используются в основном технологии самоуплотняющегося бетона [4]. В некоторых случаях, например при производстве габаритного смотрового колодца в Германии, сложная геометрия опалубки не позволяла при обычном способе заливки «сверху-вниз» получить качественную поверхность. А использование высокоподвижного самоуплотняющегося бетона позволило использовать технологию заливки «снизу-вверх» и получить поверхность более высокого качества [3].

Для успешного внедрения песчаных самоуплотняющихся бетонов в строительстве они не должны уступать по техническим показателям самоуплотняющимся бетонам с крупным заполнителем. Следует отметить, что деформативные свойства самоуплотняющихся бетонов (SCC), такие как начальный модуль упругости, мера или коэффициент ползучести, усадка, будут существенно отличаться от этих показателей у бетонов равных классов, полученных по традиционной технологии из умеренно подвижных смесей с маркой по удобоукладываемости П1, П2. Это обусловлено двумя факторами: отличием макроструктуры (количество цементного камня в структуре СУБ выше) и возможным влиянием суперпластификаторов на указанные выше свойства цементного камня [5, 6].

Применение песчаного бетона не только повышает экономическую эффективность строительства, но и обеспечивает другие преимущества: упрощается технологическая схема приготовления бетонной смеси, так как отпадает необходимость в организации складского и сортировочного отделения для приемки, переработки и складирования щебня, уменьшается потребность в электроэнергии и трудозатратах [7]. Поэтому получение самоуплотняющегося бетона с использованием местного сырья, в частности, песка, как единственного заполнителя имеет для многих регионов России большое значение [8, 9].

Ранее нами уже были получены самоуплотняющиеся песчаные бетоны с необходимыми стандартными технологическими и прочностными характеристиками [10], однако необходимо исследовать и другие технологические свойства.

Для изготовления самоуплотняющегося бетона в качестве вяжущего мы использовали Вольский цемент ПЦ500 Д0. Для снижения водопотребности цементных систем использовали суперпластификатор Melflux 2651 F – порошковый продукт, полученный методом распылительной сушки на основе модифицированного полиэфиркарбоксилата. Для изготовления мелкозернистого бетона использовали пески Камского месторождения, которые дополнительно отсеивали на необходимые фракции. В качестве наполнителей для СУБ использовали известняковую муку, микрокремнезем и шлам химводоочистки (ШХВО) тепловых электростанций, хранящийся в огромных количествах в шламонакопителях или на промышленных свалках [11].

В связи с отсутствием в России нормативов для оценки самоуплотняющихся бетонов, для определения технологических свойств смесей, были использованы европейские нормативные документы EN 206-1, по которым основными показателями самоуплотняющихся бетонных смесей являются их текучесть, вязкость, расслаиваемость и воздухововлечение. Правила [12] предусматривают три класса текучести СУБ: SF1 с диаметром расплыва $D = 550-650$ мм; SF2 с $D = 660-750$ мм; SF 3 с $D = 760-850$ мм. Таким образом, ключевым показателем, определяющим принадлежность бетонной смеси к соответствующему классу SCC, является диаметр расплыва.

Таблица 1

Составы самоуплотняющихся бетонных смесей

№	Расход компонентов, кг/м ³										
	Цемент	Известняковая мука	ШХВО	МК	Песок (Мк=2,5)	Количество фракций в песке оптимального зернового состава			Щебень	Melflux 2651 F	Вода
						5-1,25	1,25-0,315	0,315-0,14			
1	380	179	-	50	850	-	-	-	750	1,9	200
2	380	-	-	57	1650	-	-	-	-	1,9	277
3	380	-	-	57	-	990	330	330	-	1,9	257
4	380	-	28,3	57	-	990	330	330	-	1,9	243

Таблица 2

Технологические свойства бетонной смеси

№	Расплыв конуса, см	Плотность, кг/м ³	Воздухововлечение, %
1	61	2310	3,9
2	56	2174	6,7
3	60	2201	5,5
4	70	2209	4,2

Как видно из табл. 1-2 использование суперпластификатора в дозировке 0,5 % в самоуплотняющемся бетоне с крупным заполнителем позволяет при 0,55 % ВЦ получить расплыв конуса соответствующий классу по подвижности SF 1. У песчаных СУБ с той же дозировкой суперпластификатора для получения необходимой подвижности ВЦ отношение увеличилось до 0,72. Использование фракционных составов песков позволяет

снизить этот показатель до 0,67, а применение ШХВО позволяет получить самоуплотняющийся бетон с В/Ц отношением 0,62 и классом по подвижности SF 2.

Применение ШХВО также позволяет снизить воздухововлечение до 4,2 % у самоуплотняющейся бетонной смеси, а в правилах [12] содержание воздуха в бетонной смеси ограничивается 5 %. Использование фракционированных песков также позволяет снизить количество воздуха на 17 % в сравнении с самоуплотняющимся песчаным бетоном на обычном песке.

Далее на рис. 1 представлены кривые набора прочности самоуплотняющегося бетона составов, приведенных в табл. 1. СУБ с крупным заполнителем (состав № 1); песчаный СУБ (состав № 2); песчаный СУБ с фракционным песком (состав № 3); песчаный СУБ с ШХВО и фракционным песком (состав № 4).

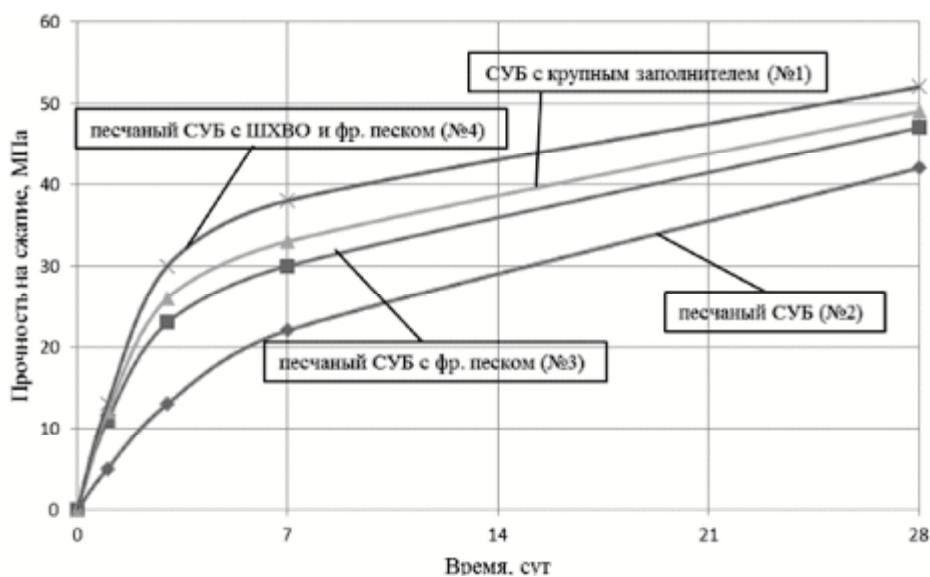


Рис. 1. Кинетика набора прочности самоуплотняющихся бетонов

Из рис. 1 следует, что применение фракционных песков в песчаном СУБ с оптимальными дозировками наполнителей микрокремнезема и ШХВО позволяет получить бетон с прочностью, превышающую прочность СУБ с крупным заполнителем во все сроки твердения. Как видно из кривых рис. 1, на 3, 7 и 28 суток твердения прочность песчаного СУБ превышала прочность СУБ с крупным заполнителем на 15 %, 15 % и 6 % соответственно.

Использование фракционированных песков, как видно из рис. 1 увеличило прочность бетона в сравнении с СУБ с обычным песком на 3, 7 и 28 суток нормального твердения на 43, 26 и 11 % соответственно. Разработанный состав песчаного СУБ с фракционным песком и ШХВО по прочности на сжатие соответствует классу бетона В 40, что позволяет его использовать в несущих строительных конструкциях.

Деформации в процессе твердения цементного камня ограничены в бетоне вследствие того, что цементный камень распределен между зернами заполнителей, которые препятствуют свободному течению деформаций. С понижением относительного содержания цемента в бетоне уменьшаются и размеры усадочных деформаций. Величина усадки бетона возрастает по мере увеличения начального содержания воды, а также с увеличением относительного содержания песка и тонкомолотых пылевидных добавок в бетонной смеси. Усадка цементного камня создает в бетоне напряжения, так как каменный заполнитель, претерпевающий значительно меньшие объемные деформации, препятствует усадке цементного камня и испытывает при этом всестороннее обжатие, а в цементном камне возникают соответствующие растягивающие напряжения. Обжатие заполнителей усиливает сцепление цементного камня с заполнителем. Наряду с этим положительным влиянием усадки наблюдается и отрицательное, вследствие возникающих в бетоне внутренних растягивающих напряжений еще до начала действия эксплуатационных нагрузок.

Очень важно изучение усадочных деформаций самоуплотняющихся бетонов, особенно песчаных, в которых повышено содержание цементного камня и тонкомолотых добавок, а крупный заполнитель и вовсе отсутствует. Ниже представлены результаты исследования деформации усадки образцов самоуплотняющегося бетона, составы которых представлены в табл. 1.

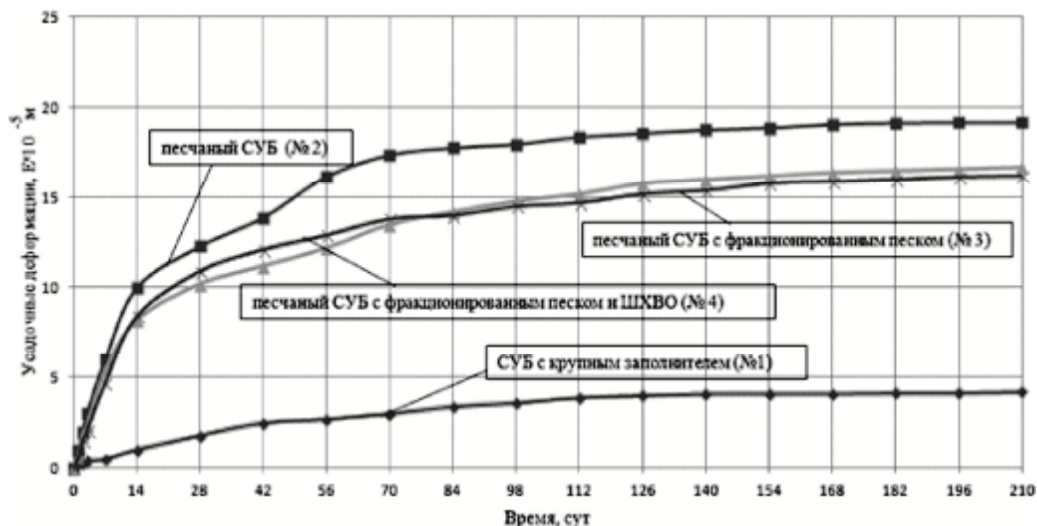


Рис. 2. Усадочные деформации самоуплотняющихся бетонов

Как видно из рис. 2. наименьшим усадочным деформациям подвержены образцы самоуплотняющегося бетона с крупным заполнителем – к 210 суткам деформация усадки составляет $4,2 \times 10^{-5}$ м. Использование в качестве заполнителя только песка приводит к значительному повышению усадочных деформаций бетона: у образцов СУБ на обычном песке они составляют к 210 суткам $19,2 \times 10^{-5}$ м; $16,7 \times 10^{-5}$ м; – у состава СУБ с фракционированными песками и $16,2 \times 10^{-5}$; – у состава СУБ с фракционированными песками и добавкой ШХВО.

Таблица 3

Значения начального модуля упругости самоуплотняющихся бетонов E_8 при сжатии и требования СНиП 2.03.01-84*

№ состава	Кубиковая прочность, МПа	Призменная прочность, МПа	Модуль упругости E_8 МПа· 10^{-3}	По СНиП 2.03.01-84*	
				E_8 МПа· 10^{-3}	Для класса
1	49	34,3	38,7	34,5	В 35 (тяжелый)
2	42	30,1	34	26	В 30 (мелкозернистый)
3	47	33,4	37,2	27,5	В 35 (мелкозернистый)
4	52	35,5	38,2	28,5	В 40 (мелкозернистый)

Уругопластические свойства бетона характеризуются: величиной деформаций, возникающих в бетоне под действием приложенной нагрузки, в зависимости от ее величины и длительности воздействия; предельной величиной пластических деформаций, после которых бетон разрушается, как принято называть, предельной сжимаемостью и предельной растяжимостью бетона. В табл. 3 представлены результаты исследования призменной прочности, модуля упругости самоуплотняющихся бетонов и значения этих показателей указанные в нормативных документах для соответствующих классов бетона.

Из представленных результатов видно, что кубиковая и призменная прочность самоуплотняющегося песчаного бетона превосходят значения бетона на крупном заполнителе. Полученные самоуплотняющиеся бетоны по показателю модуля упругости превосходят нормативные значения для соответствующих бетонов. СУБ с ШХВО и фракционированным песком обладает модулем крупности, превышающим значения состава СУБ с крупным заполнителем.

Таким образом, результаты исследования эксплуатационных характеристик самоуплотняющихся песчаных бетонов классов В30-В40 показывают что, использование фракционированного песка с добавкой ШХВО и МК позволяет не только повысить прочность, но и снизить усадочные деформации более чем на 15 %. Модуль упругости разработанных составов самоуплотняющихся песчаных бетонов сравним с модулем бетонов на крупном заполнителе, что позволяет рекомендовать их в качестве конструкционного материала для несущих конструкций без ограничений.

Список библиографических ссылок

1. Василик П.Г., Голубев И.В. Поликарбоксилатные системы в самовыравнивающихся составах // Строительные материалы, 2006, № 3. – С. 12-14.
2. Дворкин Л.И. Практическое бетоноведение в вопросах и ответах: Справочное пособие // – СПб.: ООО «Строй-Бетон», 2008. – 328 с.
3. Рейман Й. UPCRETE® и самоуплотняющийся бетон новая технология для сборных элементов со строгими требованиями // Бетон и железобетон. – СПб., 2010. – С. 24-26.
4. Якунин Ю.И., Козлов В.С. Производство самоуплотняющегося бетона для изготовления ЖБИ и требования к бетоносмесительному оборудованию // Бетон и железобетон, 2008, № 1. – С. 124-126.
5. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести // Строительные материалы, 2009, № 6. – С. 68-71.
6. Ибнеев Б.Т., Богданов Р.Р., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С. Безрулонная кровля из самоуплотняющегося бетона // Известия КГАСУ, 2014, № 1 (27). – С. 183-187.
7. Мелкозернистые бетоны и их применение в строительстве // Бетон и железобетон, 1993, № 10. – С. 2-4.
8. Краснов А.М. Высоконаполненный мелкозернистый бетон повышенной прочности // Строительные материалы, 2003, № 1. – С. 8-10.
9. Черкашин Ю.Н. Мелкозернистые бетоны для энергетического строительства на обогащенных песках КМА // Автореферат к.т.н. – Белгород, 2006. – 24 с.
10. Авксентьев В.И., Морозов Н.М., Хозин В.Г. Шлам химической водоочистки – эффективный наполнитель в самоуплотняющихся песчаных бетонах // Известия КГАСУ, 2014, № 4 (30). – С. 249-254.
11. Марьинских С.Г., Митрофанов Н.Г. Способ утилизации шлама химводоочистки Тюменской ТЭЦ № 2 // Фундаментальные науки и практика, 2010, № 4. – С. 26-30.
12. EFNARC: Specification and Guidelines for SCC. URL: <http://www.efnarc.org> (дата обращения: 14.04.2016).

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

E-mail: nikola_535@mail.ru

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

E-mail: khazin@kgasu.ru

Avksentev V.I. – post-graduate student

E-mail: vlad80889@yandex.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

Study of operational properties of self-compacting sand concrete

Resume

For the successful implementation of sand self compacting concrete in construction, they should not concede on technical performance self-compacting concrete with large aggregate. The use of sand concrete not only increases the economic efficiency of construction, but also provides other advantages: simplified technological scheme of preparation of the concrete

mixture, since it eliminates the need for warehouses and the sorting compartments for receiving, processing and storing of rubble, reduced the demand for electricity and labor. Therefore, obtaining self-compacting concrete using local raw materials, particularly sand as the sole filler has, for many regions of Russia is of great importance. The article shows that the use of the fractional composition of the sand allows you to reduce this figure to 0,67, and the use of SHVO allows obtaining self-compacting concrete W/C ratio of 0,62 and class mobility SF2.

The results of the study operational characteristics of self-compacting sand concrete of classes B30-B40 show that the use of graded sand with the addition of SHVO and MK not only improves strength, but also to reduce the shrinkage strain of more than 15 %. The modulus of elasticity of the developed compositions of self-compacting sand concrete is comparable to the modular concrete with large aggregate, which allows to recommend them as a structural material for load-bearing structures without restrictions.

Keywords: self-compacting sand concrete, shrinkage, strength, modulus of elasticity.

Reference list

1. Vasilik P.G., Golubev I.V. Polycarboxylate self-leveling system in the compositions // *Stroitelnye materialy*, 2006, № 3. – P. 12-14.
2. Dvorkin L.I. Practical the science of the concrete in questions and answers: a reference guide // – SPb.: OOO «Stroi-Beton», 2008. – 328 p.
3. Reiman I. UPCRETE® and self-compacting concrete is a new technology for precast elements with strict requirements // *Beton i zhelezobeton*. – SPb., 2010. – P. 24-26.
4. Yakunin Y.I., Kozlov V.S. The production of self-compacting concrete for the manufacture of concrete products and requirements for concrete mixing equipment // *Beton i zhelezobeton*. 2010, № 1. – P. 124-126.
5. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Self-compacting concrete: the modulus of elasticity and a measure of creep // *Stroitelnye materialy*, 2009, № 6. – P. 68-71.
6. Ibneev B.T., Bogdanov R.R., Ibragimov R.A., Izotov V.S. Liquid the roof of self-compacting concrete // *Izvestija KGASU*, 2014, № 1 (27). – P. 183-187.
7. Fine-grained concretes and their application in construction // *Beton i zhelezobeton*, 1993, № 10. – P. 2-4.
8. Krasnov A.M. Highly filled fine-grained concrete of improved strength // *Stroitelnye materialy*, 2003, № 1. – P. 8-10.
9. Cherkashin Y.N. Fine-grained concretes for the construction of power-to-rich Sands KMA // *Autoref. cand.techn.sc.* – Belgorod, 2006. – 24 p.
10. Avksentev V.I., Morozov N.M., Khozin V.G. Sludge of chemical water treatment – effective filler in self-compacting sand concrete // *Izvestija KGASU*, 2014, № 4 (30). – P. 249-254.
11. Marinskih S.G., Mitrofanov N.G. Way sludge disposal demineralizer Tyumen CHP № 2 // *Fundamentalnye nauki i praktika*, 2010, № 4. – P. 26-30.
12. EFNARC: Specification and Guildelines for SCC. URL: <http://www.efnarc.org> (reference date: 14.04.2016).