

УДК 691.327:666.97

Морозов Н.М. – кандидат технических наук

E-mail: nikola_535@mail.ru

Мугинов Х.Г. – соискатель

E-mail: kamgesrbz@mail.ru

Хозин В.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: khozin@kgasu.ru

Антаков А.Б. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: antakof@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Высокопрочные песчаные бетоны для монолитного строительства

Аннотация

Применение высокопрочных бетонов все больше входит в практику современного строительства. В статье выполнены исследования по повышению прочности песчаного бетона путем совместного использования эффективных пластифицирующих добавок и минеральных наполнителей. Разработанный песчаный бетон в сравнении с крупнозернистым бетоном имеет более высокую прочность на растяжении при изгибе и призмную прочность. Использование высокопрочного песчаного бетона классов В60 и В70, по результатам проведенных расчетов, позволяет при уменьшении сечения колонн до 300х300 мм снизить расход бетона на 44 %, а расход стали на 11 %.

Ключевые слова: песчаный бетон, высокая прочность, суперпластификатор, минеральные наполнители.

Широкое распространение монолитного строительства привело к использованию подвижных и литых бетонных смесей. Одним из главных требований к бетонам из таких смесей является высокий класс по прочности на сжатие, так как этажность зданий постоянно увеличивается. Высокоподвижные смеси отличаются высокими значениями водоцементного отношения, что приводит к снижению прочности или увеличению расхода цемента. В связи с этим задача повышения прочности бетонов из этих смесей становится очень важной.

Высокопрочные бетоны находят применение при высотном домостроении, мостостроении, а также при возведении ответственных объектов. При отсутствии массового производства высокомарочного цемента, а также заполнителей повышенного качества получение высокопрочного бетона возможно только при максимальном вовлечении в гидратационные процессы минералов портландцемента, что может быть достигнуто путем химической активации твердеющей системы. В настоящее время имеется опыт применения высокопрочных тяжелых бетонов прочностью 90-110 МПа при строительстве комплекса «Федерация» [1]. В основе технологии производства таких бетонов лежат отечественные модификаторы серии МБ, а в качестве заполнителей использовали кварцевый песок и щебень из изверженных пород. Отсутствие крупного заполнителя является для многих регионов России проблемой в случае производства высокопрочного бетона, одним из путей решения которой является разработка высокопрочных песчаных бетонов.

Песчаный бетон в последнее время находит все большее применение в силу повсеместного наличия сырьевой базы, в то время как затраты на транспортирование качественного щебня для высокопрочного бетона с каждым годом все больше возрастают. Ценными особенностями песчаного бетона являются возможность создания однородной высококачественной структуры без крупных включений и высокая технологичность – возможность формирования конструкций и изделий различными методами [2]. Свойства песчаного бетона определяются теми же факторами, что и обычного бетона, однако он имеет некоторые особенности, обусловленные, в первую очередь, высоким содержанием цементного камня [3]. Песчаные бетоны имеют и недостатки, обусловленные большой поверхностью заполнителей, соответственно, увеличивается расход цемента на 15-20 % по сравнению с равнопрочным тяжелым бетоном. Поэтому при использовании песчаных бетонов в монолитном строительстве

необходимо вводить в состав не только пластифицирующие, но и минеральные добавки или использовать композиционные цементы или ЦНВ. Разработанные в настоящее время высокопрочные мелкозернистые бетоны отличаются значительным расходом цемента более 600 кг/м³ и значительным расходом микрокремнезема более 150 кг/м³, что в итоге приводит к значительному увеличению его стоимости [4].

В песчаных бетонах на подвижных смесях немаловажную роль играет и фракционный состав заполнителя. Так, при оптимизации зернового состава песка и использовании эффективных пластифицирующих добавок, прочность песчаного бетона может достигать 100 МПа и более [5]. При этом также нужно учитывать повышенное воздухововлечение в песчаных бетонах, для снижения которого необходимо подбирать эффективные разжижители или пеногасители.

Воздухововлечение песчаных бетонов в сравнении с обычными тяжелыми бетонами изначально большее, причем оно незначительно зависит от соотношения Ц:П, так как при этом расход песка меняется в узком интервале, и, соответственно, изменение его удельной поверхности тоже мало.

Таблица 1

Свойства бетонных смесей на различных заполнителях

№	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	С-3, кг	В/Ц	Марка по подвижности смеси	Воздухововлеч., %	Плотность бетонной смеси, кг/м ³
1	280	750	1200	1,4	0,53	ПЗ	2,2	2230
2	350	800	1100	1,75	0,50	ПЗ	3,2	2320
3	600	1500	-	3	0,31	ПЗ	6,1	2295
4	500	1590	-	2,5	0,37	ПЗ	6,3	2275
5	400	1650	-	2	0,52	ПЗ	6,4	2235
6	300	1690	-	1,5	0,63	ПЗ	5,9	2205

При использовании только песка в качестве заполнителя (состав № 3-6 из табл. 1) воздухововлечение возрастает в 2-3 раза по сравнению с крупнозернистым заполнителем. Мелкие заполнители способствуют воздухововлечению ввиду того, что большая поверхность раздела фаз лучше удерживает воздух. Однако, следует учитывать еще и роль гранулометрического состава частиц, проявляющегося наиболее сильно в тощих бетонных смесях. Воздухововлечение зависит и от вида пластификатора. Так, добавки С-3 и Sika VC 5-800 увеличивают воздухововлечение песчаных бетонов на 16 и 8 %, соответственно, а добавка Glenium ACE 430F – на 4 %. Добавка Melflux 2651F, наоборот, снижает этот показатель на 33%. Кроме того, при использовании суперпластификаторов в песчаном бетоне наибольшее снижение водопотребности наблюдается в составах с добавкой Melflux 2651. Увеличение дозировки С-3 не приводит к значительному повышению прочности песчаного бетона, так как возрастает воздухововлечение, что уменьшает эффект от снижения водоцементного отношения. Поэтому добавка гиперпластификатора Melflux 2651 для песчаных бетонов наиболее предпочтительна [3].

Следует заметить, что важным является и способ перемешивания смеси. Так, например, при ручном перемешивании воздухововлечение песчаных бетонов меньше (4 %), чем при приготовлении в смесителе принудительного типа, т.е. при переходе от лабораторных замесов к производственным значение фактора воздухововлечения возрастает, что необходимо учитывать при промышленном производстве песчаного бетона.

Одним из способов повышения прочности цементного камня является снижение содержания портландита в общей массе новообразований, так как данный минерал является наиболее слабым по сравнению с другими и к тому же ухудшает контактную зону между заполнителями и цементным камнем. Одним из путей уменьшения портландита в системе является использование активных минеральных компонентов, поэтому для модификации песчаного бетона совместно использовали суперпластификатор на основе поликарбоксилата и минеральные наполнители. В качестве минеральных наполнителей использовали микрокремнезем марки МК-85 и

молотый кварцевый песок с удельной поверхностью $150 \text{ м}^2/\text{кг}$, так как они не увеличивают воздухововлечение песчаного бетона [6].

Расход цемента в контрольном составе песчаного бетона составлял 500 кг на 1 м^3 смеси. Цемент использовали марки М500 с нормальной плотностью 25 %. Наполнители вводились в песчаный бетон взамен части цемента, дозировка суперпластификаторов составляла 0,5 % от массы цемента. Подвижность во всех составах была постоянной. Показано, что совместное использование молотого кварцевого песка в количестве 5 % от массы цемента с пластификаторами Melflux 2651F, Glenium ACE 430 и С-3 приводит к значительному увеличению прочности мелкозернистого бетона (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что при введении любого из использованных пластификаторов прочность на всех сроках твердения повышается. Наименьший прирост прочности наблюдается с С-3, а наибольший при использовании гиперпластификатора Melflux 2651F. При совместном использовании молотого кварцевого песка и добавки Melflux 2651F прочность мелкозернистого бетона на первые сутки повышается на 208 %, а в возрасте 28 суток – на 85 %.

Более эффективным минеральным наполнителем считается микрокремнезем (МК). Положительное влияние МК на структуру и физико-механические характеристики бетона обусловлено двумя причинами: пуццоланической активностью МК, а также высокой дисперсностью его частиц. Кремнезем вступает в реакцию с гидроксидом кальция, образующимся в процессе гидратации силикатных фаз цемента, с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция.

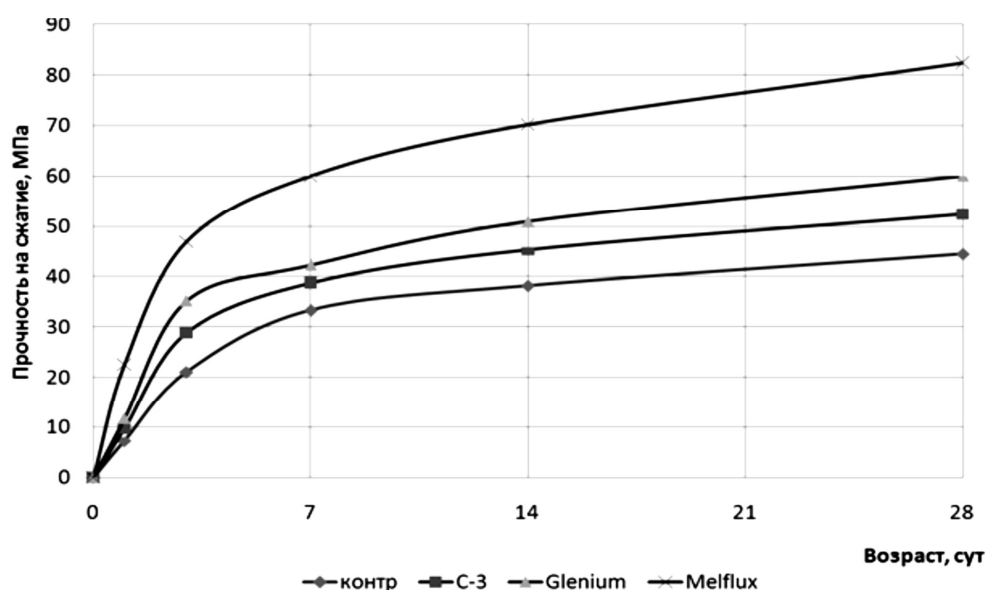


Рис. 1. Кинетика набора прочности песчаного бетона с молотым кварцевым песком и суперпластификаторами

Высокая удельная поверхность микрокремнезема ($13000\text{-}25000 \text{ м}^2/\text{кг}$) интенсифицирует образование продуктов гидратации. Следовательно, совместное использование микрокремнезема в количестве 5 % от массы цемента с пластификаторами Melflux 2651F, Glenium ACE 430 и С-3 должно увеличивать прочность мелкозернистого бетона.

Из рис. 2 видно, что пластификаторы Melflux 2651F и Glenium ACE 430F показывают значительный прирост прочности бетона как в раннем, так и в более позднем периоде твердения. В возрасте 1 суток при использовании добавки Glenium ACE 430F прочность бетона превысила прочность контрольного состава на 309 %, а при введении добавки Melflux 2651F – на 338 %, в возрасте 28 суток прирост прочности составил 84 и 103 %, соответственно. Использование добавки С-3 совместно с микрокремнеземом увеличивает прочность мелкозернистого бетона в возрасте 1 суток нормального твердения на 45 %, а в возрасте 28 суток – на 23 % по сравнению с бездобавочным составом.

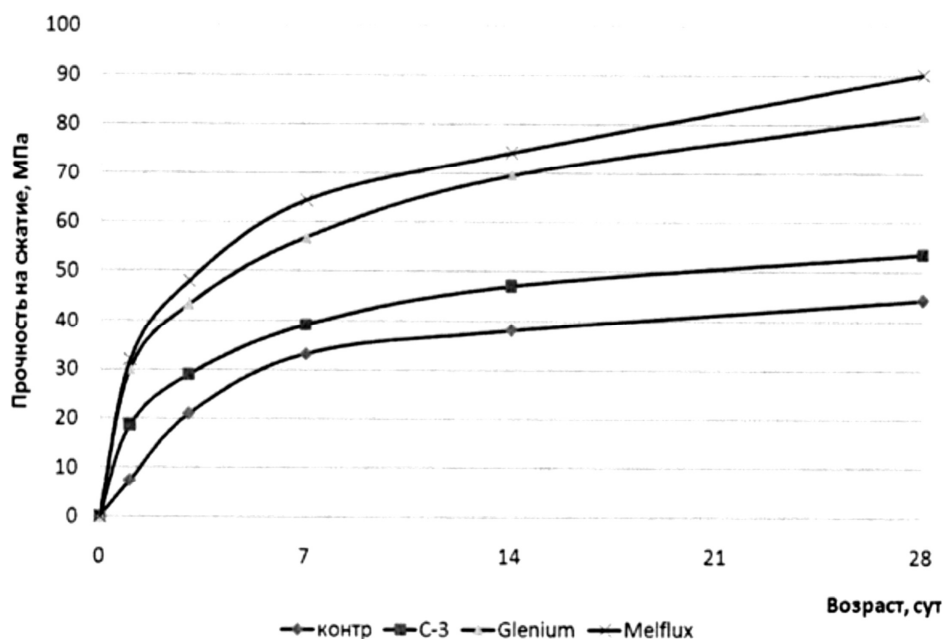


Рис. 2. Кинетика набора прочности песчаного бетона с микрокремнеземом и суперпластификаторами

Таким образом, микрокремнезем «хорошо работает» совместно с добавкой Glenium ACE 430F, так как по сравнению с молотым кварцевым песком прочность увеличилась более чем на 50 %. Увеличение прочности песчаного бетона при введении добавок Glenium ACE 430F и Melflux 2651 обусловлено повышением прочности цементного камня и зоны его контакта с заполнителем, за счет снижения водоцементного отношения. Введение микрокремнезема в значительной степени снижает капиллярную пористость контактной зоны за счет резкого уменьшения общего содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В то же время рост содержания $\text{CSH}(1)$ в непосредственной близости от поверхности заполнителя положительно сказывается на свойствах контактной зоны.

Исходя из полученных результатов оценки физико-механических свойств, был выбран состав с микрокремнеземом и суперпластификаторами Melflux 2651 и Glenium ACE 430, так как они имеют наибольшую прочность как в раннем, так и марочном возрасте. Кроме того, для сравнения был взят состав крупнозернистого бетона на щебне фракции 5-20 мм с суперпластификатором C-3 и микрокремнеземом. Результаты представлены в табл. 2. Подвижность бетонной смеси была принята марки П4.

Таблица 2

Сравнительные свойства высокопрочного песчаного и крупнозернистого бетонов

№	Состав бетонной смеси, кг/м ³					ОК, см	Прочность бетона, МПа через 28 сут		Призмная прочность, МПа	Модуль упругости, МПа
	цемент	щебень	песок	СП	МК		на растяжение при изгибе	на сжатие		
1	450	1100	650	2,7 C-3	50	18	5,2	93,1	68,3	44100
2	475	-	1600	2,5 Melflux	25	17	9,3	90,2	75,3	43600
3	475	-	1600	2,5 Glenium	25	18	8,9	82,1	69,7	41200

Как видно из табл. 2, песчаный бетон в сравнении с крупнозернистым бетоном имеет более высокую прочность на растяжении при изгибе и призмную прочность, а модуль упругости немного уступает значениям крупнозернистого бетона. Увеличение прочности при изгибе и призмной прочности в песчаном бетоне связано с увеличением количества контактов цементного камня с заполнителем. Кроме того, совместное использование микрокремнезема и суперпластификаторов снижает пористость в контактной зоне цементного камня с заполнителем, что также способствует увеличению прочности на растяжение при изгибе.

Полученные характеристики песчаного бетона были приняты за основу при расчете несущего каркаса 13-этажного жилого дома. Изначально в проекте был принят бетон класса В30 и В40, нами был проведен перерасчет конструкций на класс В60 и В70. Расчет был выполнен с использованием программного комплекса «Лира». Полученные расчетные данные приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, использование высокопрочного песчаного бетона классов В60 и В70 позволяет при уменьшении сечения колонн до 300х300 мм снизить расход бетона на 44 %, а расход стали на 11 %. При неизменном сечении колонн (400х400 мм), но с использованием высокопрочного бетона расход стали снижается на 48 %.

Таблица 3

Расчетные данные по проекту 13-этажного жилого дома

Марка колонн	Проектное решение сечение колонн 400х400			По результатам расчета					
	класс бетона	Расход бетона на каркас, м ³	расход стали на каркас, кг	сечение колонн 300х300			сечение колонн 400х400		
				класс бетона	расход бетона на каркас, м ³	расход стали на каркас, кг	класс бетона	расход бетона на каркас, м ³	расход стали на каркас, кг
ИТОГО:	В40	25,76	67955	В70	14,54	60522	В70	25,76	34997
	В30	220,2		В60	124,5		В60	220,2	
Уменьшение по сравнению с проектным решением	-	-	-	В70	11,22	7432	В70	0	32958
	-	-	-	В60	95,79		В60	0	

Снижение расхода материалов в несущих конструкциях и, соответственно, их веса потенциально могут дать значительный экономический эффект при строительстве. Переход на высокопрочный песчаный бетон при строительстве железобетонного каркаса здания, в случае уменьшения размера сечения колонн до 300х300 мм, позволяет уменьшить стоимость каркаса по материалам на 17 %, а если сечение колонн оставить прежним (400х400 мм), то снижение стоимости железобетонного каркаса составляет 22 %. Дополнительный эффект от снижения массы конструкций за весь цикл строительно-монтажных работ (с учетом сохранения транспортно-грузоподъемных затрат) может быть также значителен.

Список литературы

1. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфилд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // Строительные материалы, 2008, № 3. – С. 9-13.
2. Львович К.И. Песчаный бетон и его применение в строительстве. – СПб.: Стройбетон, 2007. – 320 с.
3. Баженов Ю.М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2001, № 10. – С. 24-25.

- Каприелов С.С., Шейнфилд А.В., Кардумян Г.С., Дондуков В.Г. Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны с улучшенными деформационными характеристиками // Бетон и железобетон, 2006, № 2. – С. 2-7.
- Морозов Н.М., Хозин В.Г., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы, 2010, № 9. – С. 72-73.
- Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г., Авксентьев В.И., Мугинов Х.Г. Влияние компонентов песчаного бетона на воздухововлечение при его приготовлении // Известия КГАСУ, 2011, № 3. – С. 129-133.

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

E-mail: nikola_535@mail.ru

Muginov H.G. – researcher

E-mail: kamgesrbz@mail.ru

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

E-mail: khazin@kgasu.ru

Antakov A.B. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: antakof@rambler.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Sandy concretes of high strength for monolithic construction

Resume

Sandy concrete in recent times is increasingly being used in the general availability of raw material base, while the costs for transportation of high-quality crushed stone for high-strength concrete with every year more and more increasing. In sandy concretes on mobile mixtures plays an important role fractional composition of the core. So, when optimizing the grain of sand and use of efficient plasticizing additives, the strength of sandy concrete by more than 50 %. It is also necessary to take into account the increased the involvement of air in the sand of concrete, to reduce which, it is necessary to select effective thinners.

The most effective way of modification of sandy concrete is the joint application of superplasticizers on the basis of polycarboxylate and mineral fillers. It allowed to increase the compressive strength of sandy concrete up to 80-90 MPa, prism strength up to 69 to 70 MPa and Flexural strength to 9,3 MPa. The use of high-strength sandy concrete in reinforced concrete columns allows the reduction of the cross-section columns up to 300x300 mm reduce the consumption of concrete by 44 %, and consumption of steel on 11 %. At constant cross-section columns (400x400 mm), but with the use of high-strength concrete consumption were reduced by 48 %.

Keywords: sandy concrete, high-strength, superplasticizer, mineral fillers.

References

- Kapriyelov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I., Sheinfeld A.V., Kardumjan G.S., Kiselev Y.U., Prigogenko O.V. // Modified high-strength concrete classes of the B80 and B90 in the monolithic constructions. Building materials, 2008, № 3. – P. 9-13.
- Lvovich K.I. Sandy concrete and its application in construction. – SPb.: Stroi-beton, 2007. – 320 p.
- Bazhenov Yu.M. Multicomponent fine-grained concretes. // Construction materials, the equipment, technologies of XXI century, 2001, № 10. – P. 24-25.
- Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumjan G.S., Dondukov V.G. // Modified high-strength fine-grained concrete with improved deformation characteristics. - Concrete and reinforced concrete, 2006, № 2. – P. 2-7.
- Morozov N.M., Khazin V.G., Muginov H.G. Features of formation of structure of the modified sandy concrete. // Building materials, 2010, № 9. – P. 72-73.
- Morozov N.M., Borovskich I.V., Khazin V.G., Avksentev V.I., Muginov H.G. The influence of the components of sandy concrete on the involvement of air with his cooking // News of the KSUAE, 2011, № 3. – P. 129-133.