

Оптимизация зернового состава кварцевого песка – как фактор ресурсосбережения в строительстве

Т.Ф. Чередниченко, В.Д. Тухарели, Б.А. Абухба

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Экономия ресурсов при производстве сборных железобетонных конструкций является главной задачей строительной отрасли. Рассмотрена возможность расширения диапазона фракционирования заполнителей путем использования мелких карьерных песков региона, что обеспечит гибкое регулирование зернового состава заполнителя. Обогащение строительного песка мелкими фракциями заполнителя обуславливает более плотную упаковку зерен, снижая расход цемента.

Ключевые слова: ресурсосбережение, факторы экономии цемента, вторичное сырье региона, фракционирование песка, оптимизация состава заполнителя.

Использование тяжелых бетонов с высокой прочностью в строительстве является основной тенденцией в мировой практике при нарастающих требованиях к их функциональности и долговечности, а также повышению эффективности использования цементов в составе бетонных смесей [1 - 3]. Поэтому экономия ресурсов при производстве сборных и возведении монолитных железобетонных конструкций является неотложной задачей строительной отрасли. Дефицит строительных материалов и наращивание их производства возможно при строительстве новых современных заводов, что требует больших капиталовложений, либо при осуществлении технического перевооружения и реконструкции действующих предприятий посредством их перевода на ресурсосберегающие технологии. Рациональная организация работы на стройплощадках, проектирование прогрессивных технологий, конструкций, материалов и методов производства работ, порядок с транспортированием и хранением материалов может существенно сократить и практически ликвидировать дефицит не только готовых строительных материалов, но и сэкономить материальные ресурсы для их производства [4 -6].

Экономия цемента - это одна из самых острых проблем современного отечественного строительства. Реальные пути снижения потребления цемента строителями возможны при оптимизации технологического процесса приготовления бетона. Причина перерасхода цемента заключается в необеспеченности высококачественными заполнителями бетона и потерями активности цемента при неудовлетворительном его хранении. Влияет на расход цемента также использование минеральных и химических добавок, наномодификаторов. Оптимизацию состава с учетом технологических и нормативных ограничений при неукоснительном соблюдении технологических параметров дозирования компонентов, выбор способа перемешивания, транспортировка, укладка и уплотнение бетонной смеси, и последующая обработка бетона - это основные факторы, влияющие на расход цемента [5, 7 - 9].

На сегодняшний момент среди перечисленных факторов особого внимания удостоиваются те, которые не требуют серьезных капиталовложений, а именно, ресурсосберегающие, в частности использование вторичных материальных ресурсов для получения заполнителей бетона. При некачественных заполнителях наблюдается наибольший перерасход цемента. Так, например, для получения бетонной смеси необходимой пластичности, и обеспечения нужной марки бетона по прочности из песчано-гравийных смесей, рост расхода цемента увеличивается до 100 кг/м³.

Перспективным направлением является разделение песка по крупности зерен на фракции, что обеспечивает постоянство зернового состава заполнителя. Это мероприятие предусмотрено действующими стандартами, но и в этом случае зерновой состав может быть не однородным. Песок может относиться к различным группам по крупности, значительно отличаться пустотностью и удельной поверхностью, например, полный остаток на сите с

отверстиями 0,63 мм может колебаться от 20 до 70%. При приготовлении бетона это ведет к перерасходу цемента для компенсации вероятности наиболее неблагоприятного зернового состава песка. Фракционирование песка позволяет повысить качество бетона и уменьшить расход цемента, но и в этом случае есть проблемы. Первая состоит в выборе технологии фракционирования, вторая — в обеспечении условий эффективного использования песка, разделенного на две фракции. На большинстве действующих предприятий по производству бетонных и железобетонных конструкций, на бетоносмесительных заводах и узлах еще нет условий для отдельного приема, складирования и дозирования двух и более фракций песка [1, 6,10,11].

Тяжелые бетоны с плотностью 2100...2500 кг/м³ наиболее широко используются в строительной практике. В результате реакции между активными составляющими бетонной смеси образуется цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей в единый монолит. Инертные заполнители существенно влияют на структуру и свойства бетона, изменяя его пористость, сроки затвердевания, поведение при воздействии нагрузки и внешней среды. Заполнители значительно уменьшают деформации бетона при твердении и изменениях влажности окружающей среды и тем самым обеспечивают получение большеразмерных изделий и конструкций. При этом использование рационально составленной смеси заполнителей позволяет значительно снизить расход цемента в бетоне (до 10...15 % от массы бетона), что уменьшает стоимость бетона. Оптимизация зернового состава мелких зерен заполнителя, заполняющих пустоты между крупными зернами, минимизирует объемом межзерновых пустот, которые заполняются после твердения цементным камнем, склеивающим отдельные зерна заполнителей в монолитный конгломерат. Кривые нормативного распределения частиц по ситам (ситовые кривые) указывают, в каких

пределах может изменяться соотношение фракций заполнителя для обеспечения более прочной структуры бетона (рис.1). Песок, предназначенный для бетона класса В15 (М200) и выше, должен иметь насыпную плотность не ниже 1550 кг/м³; в остальных случаях - не ниже 1400 кг/м³ [1,2,10].

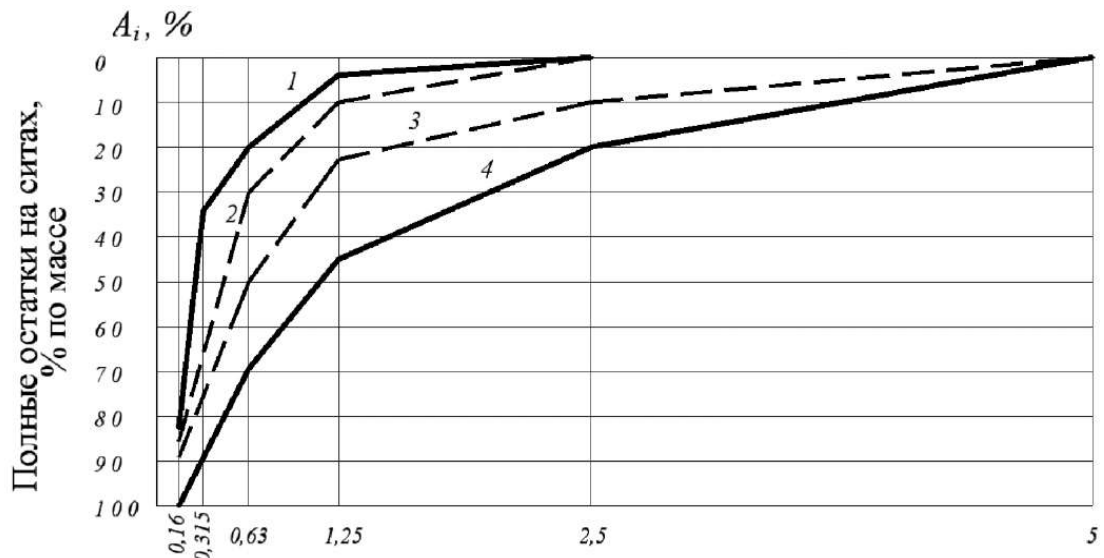


Рис. 1 - График зернового состава песка: 1 — нижняя граница крупности песка (модуль крупности 1,5); 2 — нижняя граница крупности песка (модуль крупности 2,0) для бетонов класса В15 и выше; 3 — нижняя граница крупности песка (модуль крупности 2,5) для бетонов класса В25 и выше; 4 — верхняя граница крупности песков (модуль крупности 3,25)

Не всегда достигается нормативный зерновой состав кварцевого песка в силу экономических проблем, а использование местного сырья не представляется возможным из-за несоответствия гранулометрии заполнителей нормативным показателям. Поэтому возникает ситуация, когда необходимо изменить свойства кварцевого песка, а именно его зерновой состав, для того, чтобы он стал пригодным для формирования бетонной смеси. Идея проводимой работы заключается в добавлении мелких фракций песка (МК 1,5-1,0) к крупнозернистому составу для смещения графика зернового состава в область, допустимую для использования в строительных

работах. Тем самым используя неостребованные материалы заполнителей региона, снижается их стоимость.

В проводимой работе объектом исследования являются мелкие пески (МК 1,3-1,5), образующиеся при обогащении и расसेве кварцевых песков карьеров Волгоградского региона. В таблице 1 приведен зерновой состав песков в виде частных и полных остатков, модуль крупности песков.

Таблица 1

Зерновой состав песков в виде частных остатков/полных остатков (%),
модуль крупности (M_k)

Вид песка (M_k)	Размеры отверстий сит, мм					
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Строительный (2,8)	-	6,3/6,3	20,5/26,8	34,5/61,3	32,0/93,3	3,0/96,3
Речной (1,58)	-	2,9/2,9	4,1/7,0	9,9/16,9	34,1/51,0	31,0/82,0
Карьерный						
Орловский (1,48)	-	2,5/2,5	2,5/5,0	10,5/15,5	33,0/48,5	28,0/76,5
Дубовский 1(1,50)	-	1,3/1,3	1,5/2,8	16,6/19,4	30,9/50,3	26,0/76,3
Дубовский 2(1,41)	-	1,8/1,8	6,1/7,9	9,4/17,3	30,3/47,6	19,1/66,7

Таблица 2

Химический состав кварцевых песков

Наименование кварцевого песка	Химический состав, масс. %						
	п.п.п.*	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Глин.
Речной	0,84	94,7	1,6	0,59	0,3	0,2	0,82
Дубовский	0,21	99,13	0,07	0,04	0,05	0,05	0,53
Орловский	0,30	98,2	0,45	0,43	0,35		0,34

Примечание: п.п.п.* - потери при прокаливании

Химический анализ песков можно считать удовлетворительным, с учетом высокого содержания глинистых компонентов в речном песке (табл.2).

Анализ полученных результатов зернового состава мелких песков (табл.

1) и их сравнение с песком строительным доказывает, анализируемый заполнитель не вписывается по гранулометрическому составу в график нормируемого зернового состава песков (рис.1). Но это заключение не означает, что данный материал можно браковать по зерновому составу и не использовать в технологии приготовления бетонных смесей. Посредством не сложных расчетов соотношений крупнозернистой фракции песка строительного и одного из мелких карьерных песков возможно их смешивание для получения нового зернового состава, который принадлежит заштрихованной области рис.1. Тем самым используются не востребованные мелкие заполнители бетона, стоимость которых ниже стандартных строительных.

Полные остатки на сите 1,25 для песка строительного и Орловского песков составляют, соответственно, 20,5% и 2,5%. В то время, как для верхней кривой 1 (рис.1), мы имеем оптимальных - 15%. Поэтому при смешивании песков различного фракционного состава, чтобы получить остаток на сите 15%, нам необходимо составить и решить уравнение с одним неизвестным, долей карьерного песка. В результате имеем 31% песка карьерного при содержании строительного - 69% в новой смеси песков. Результаты пересчета полных и частных остатков для смеси песков приведены в табл. 3

Таблица 3

Зерновой состав смеси песков в виде частных остатков/полных остатков (%), модуль крупности (M_k)

Вид песка (M_k)	Размеры отверстий сит, мм					
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Строительный (2,8)	-	6,3/6,3	20,5/26,8	34,5/61,3	32,0/93,3	3,0/96,3
Орловский (1,48)	-	2,5/2,5	2,5/5,0	10,5/15,5	33,0/48,5	28,0/76,5
Смесь песков (2,4)	-	5,1/5,1	15/20,1	27/47,1	32,3/79,4	10,7/90,1

Обогащение строительного песка мелкими фракциями обеспечит более плотную упаковку зерен заполнителя, и тем самым снизит расход цемента. Не выходя из норм зернового состава песка (рис.1) возможно расширение диапазона фракционирования песков при использовании вторичных ресурсов региона. Предлагаемый подход обеспечит более гибкое регулирование зернового состава заполнителя благодаря варьированию количеством рассматриваемых фракций заполнителя.

Полученные результаты эксперимента могут использоваться в технологии изготовления бетонов для ограждающих конструкций на сырьевых материалах региона, отличающихся по техническим показателям от регламентированных нормами. Такое направление исследования оправдано как с экономической точки зрения, так и с позиции ресурсосбережения.

Литература

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебное пособие для технологических специальностей строительных вузов 2-е издание. М.: Высшая школа, 1987. 415с.
2. Строительные материалы: учебно-справочное пособие./ Под ред. Г.В. Несветаева. Ростов-н/Д: Феникс, 2005. 602 с.
3. Федоров С.Н. Приоритетные направления для повышения энергоэффективности зданий // Энергосбережение, 2008. №5. С. 23-25.
4. Ресурсосберегающие технологии в строительстве/ Э.М. Калицкий [и др.]. Минск: РИПО, 2012. 148 с. ISBN 978-985-503-260-2.
5. Васильев Г.П. Основные задачи городской программы об энергосберегающем домостроении в Москве// Энергосбережение, 2009. № 4. С. 8–13.
6. Zhao H., Sun W., Wu X., Gao B. The effect of sand ration on the properties

of self-compacting concrete. Mag. Concr. Res. 2013, 65 (5), pp. 275–282. DOI: [dx.doi.org/10.1680/macrs.11.00089](https://doi.org/10.1680/macrs.11.00089)

7. Байрамуков С.Х., Долаева З.Н., Байрамуков М.С. Оценка потенциала энергосбережения жилищного фонда Карачаево-Черкесской республики // Инженерный вестник Дона, 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3664.

8. Akchurin T.K., Tukhareli A.V., Cherednichenko T.F. Effective Concrete Modified by Complex Additive Based on Waste Products of Construction Acrylic Paints// Procedia Engineering. 2016. V. 150. pp. 1468–1473. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.083](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.083)

9. Akchurin T.K., Tukhareli V.D., Pushkarskaya O.Yu. The Modifying Additive for Concrete Compositions Based on the Oil Refinery Waste // Procedia Engineering. 2016. V. 150. pp. 1485-1490. DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.087](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.087)

10. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю. М. Технология заполнителей: учебник. М.: Высшая школа. 1991. 272 с.

11. Шляхова Е.А., Шляхов М.А. Новый способ приготовления мелкозернистых бетонных смесей // Инженерный вестник Дона. 2015. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3377.

References

1. Baženov Ū.M. Tehnologiâ betona. Učebnoe posobie dlâ tehnologičeskikh special'nostej stroitel'nyh vuzov 2-e izdanie [Technology of concrete. The education guidance for technological specialties of construction higher education institutions the 2nd edition]. М.: Vysšaâ škola.1987. 415p.

2. Stroitel'nye materialy: učebno-spravočnoe posobie [Construction materials: educational handbook].Pod red. G.V. Nesvetaeva. Rostov-n/D: Feniks, 2005. 602 p.

3. Fedorov S.N. Prioritetnye napravleniâ dlâ povyšeniâ ènergoèffektivnosti zdaniy [The priority directions for increase in energy efficiency of buildings]. Ènergobereženie. 2008. №5. pp. 23-25.

4. Resursosberegaušie tehnologii v stroitel'stve [Resource-saving technologies in construction]/ È.M. Kalickij [i dr.]. Minsk: RIPO, 2012. 148 p. ISBN 978-985-503-260-2.

5. Vasil'ev G.P. Osnovnye zadači gorodskoj programmy ob ènergoberegaušem domostroenii v Moskve [The main objectives of the city program about energy saving housing construction in Moscow]. Ènergobereženie, 2009, № 4. pp. 8–13.

6. Zhao H.; Sun W.; Wu X.; Gao B. The effect of sand ration on the properties of self-compacting concrete// Mag. Concr. Res. 2013, № 65 (5), pp. 275–282. DOI: dx.doi.org/10.1680/mac.11.00089

7. Bajramukov S.H., Dolaeva Z.N., Bajramukov M.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3664.

8. Akchurin T.K., Tukhareli A.V., Cherednichenko T.F. Effective Concrete Modified by Complex Additive Based on Waste Products of Construction Acrylic Paints. Procedia Engineering, 2016, V.150. pp. 1468–1473. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.083.

9. Akchurin T.K., Tukhareli V.D., Pushkarskaya O.Yu. The Modifying Additive for Concrete Compositions Based on the Oil Refinery Waste. Procedia Engineering, 2016, V. 150. pp. 1485-1490. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.087

10. Ickovič S.M., Čumakov L.D., Baženov Ū. M. Tehnologiâ zapolnitelej [Technology of fillers]: učebnik. M.: Vysšaâ škola. 1991. 272 p.

11. Šlâhova E.A., Šlâhov M.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3377.
