

УДК 691.33

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-6-148-159

*А.Ф. КОСАЧ, И.Н. КУЗНЕЦОВА, М.А. ДАРУЛИС, Ю.В. БЕРЕЗКИНА,
Югорский государственный университет*

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ КВАРЦЕВЫХ ОТХОДОВ КАК НАПОЛНИТЕЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

В статье представлено применение ультрадисперсного наполнителя на основе активированных кварцевых отходов в структуре цементного камня и определены его физико-механические характеристики. Выявлено оптимальное содержание массы ультрадисперсных активированных кварцевых отходов к массе цемента в процентном соотношении 30:70. Обосновано применение ультрадисперсного наполнителя в цементном камне в технологии цементобетонов. Представлены физико-механические характеристики кварц-цементного камня при сухом способе активации.

Цель исследования состояла в изучении влияния наполнителя, полученного на основе ультрадисперсных кварцевых отходов, на физико-механические показатели цементного камня.

Применялись методы механического измельчения, с помощью которых были получены ультрадисперсные частицы.

Результаты исследований показали, что применение ультрадисперсного наполнителя на основе активированных кварцевых отходов позволяет улучшить физико-механические показатели цементного камня, а именно: увеличить плотность от 2 до 4 % и прочность от 20 до 30 %, уменьшить коэффициент теплопроводности до 8 %.

Предложена технология получения цементного камня с высокими физико-механическими показателями на основе цемента и ультрадисперсных кварцевых отходов до 30 % от массы цемента.

Научно обоснована возможность получения цементного камня при сухой активации до 4 % более плотной структуры, в которой основную объемную долю наполнителя составляют частицы кварцевых отходов размером менее 20 мкм.

Ключевые слова: цементный камень; ультрадисперсный наполнитель; кварцевые отходы; ультрадисперсные кварцевые отходы; кварц-цементный камень; коагуляционная структура; плотность; прочность при сжатии; теплопроводность.

Для цитирования: Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Дарулис М.А., Березкина Ю.В. Влияние ультрадисперсных кварцевых отходов как наполнителя на структуру и свойства цементного камня // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 6. С. 148–159.

*A.F. KOSACH, I.N. KUZNETSOVA, M.A. DARULIS, Yu.V. BEREZKINA,
Yugra State University*

STRUCTURE AND PROPERTIES OF CEMENT BRICK MODIFIED BY ULTRAFINE QUARTZ WASTE ADDITIVE

Purpose: The aim of this work is to study the physical and mechanical properties of cement brick modified by ultrafine quartz waste filler. **Methodology:** Mechanical grinding is used to obtain ultrafine particles. **Research findings:** The effective ratio for ultrafine activated quartz is determined to be 30:70. The use of ultrafine filler based on activated quartz waste allows increasing the density from 2 to 4 % and strength from 20 to 30 % and also reducing its thermal conductivity down to 8 %. **Practical implications:** A fabrication technique is pro-

posed for cement brick with improved physical and mechanical properties using quartz wastes in the amount of 30 % of the cement volume. **Value:** A denser structure of cement brick is obtained using a 4 % dry activation, when the volume fraction of quartz waste particles is less than 20 microns in size.

Keywords: cement brick; ultrafine additive; quartz waste; cement-quartz brick; coagulation structure; density; compressive strength; thermal conductivity.

For citation: Kosach A.F., Kuznetsova I.N., Darulis M.A., Berezkina Yu.V. Vliyaniye ul'tradispersnykh kvartsevykh otkhodov kak napolnitelya na strukturu i svoistva tsementnogo kamnya [Structure and properties of cement brick modified by ultrafine quartz waste additive]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 6. Pp. 148–159.

Введение

Одним из самых распространенных минералов земной коры, а также первым по приоритету объектом геологического изучения в промышленности является кварц.

К сожалению, информация о размерах мировой сырьевой базы, запасах и объемах мировой добычи кварца не публикуется, что, в частности, связано со стратегическим характером данного сырья. При этом полагается, что сырьевая база запасов кварца довольно велика. Известно, что основное производство природного кварца осуществляется в Бразилии, России и Китае.

На территории России расположено 13 месторождений кварца. Следует отметить, что запасы кварца в стране распределены крайне неравномерно: 77,6 % запасов сосредоточено в Уральском федеральном округе, 16,5 % – в Сибирском и 5,9 % – в Северо-Западном федеральном округе. Следует отметить, что многие месторождения кварца не учитываются Государственным балансом запасов полезных ископаемых [1].

В г. Нягань Ханты-Мансийского автономного округа – Югры работает завод по производству особо чистого кварцевого концентрата ООО «Полярный кварц». Проект имеет большое социально-экономическое значение, вовлекая в развитие два муниципальных образования Березовского района – посёлок Усть-Пуйва (промежуточная перевалочная база с цехом первичного обогащения кварцевой руды) и г. Нягань (завод по производству особо чистого кварцевого концентрата).

Кварцевые отходы являются побочным продуктом технологического процесса обработки кварцевого сырья и составляют около 30 % от производства чистого кварцевого концентрата. Одним из актуальных решений использования невостребованной продукции ООО «Полярный кварц» является получение прочных мелкозернистых бетонов на основе ультрадисперсных кварцевых отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата [2].

В настоящей работе использована классификация [3] сверхмелкозернистых материалов в зависимости от размера частиц, предложенная Б.В. Гусевым:

- тонкодисперсные материалы – 10^4 – 10^3 нм;
- ультрадисперсные материалы – 10^3 – 10^2 нм;
- наноматериалы – менее 10^2 нм.

Основная часть

Весь процесс структурообразования цементного камня в бетоне можно условно разделить на два основных периода. В каждом периоде, в свою очередь, можно выделить две стадии. Первый период – стадия гидратации клинкерных минералов цемента и стадия образования структурированной системы (коагуляционной структуры); второй период – стадия образования кристаллизационного каркаса и его развития (прорастания) и стадия длительного нарастания прочности структуры (кристаллизационно-конденсационной структуры) [4].

В период формирования коагуляционной структуры наблюдается процесс прочного сцепления кварца с новообразованиями. Это происходит из-за вторичного сцепления зерен кварца, образованных гидратами, перекристаллизовавшимися из пластинок, т. к. возле этих частиц образуется зона кристаллизованных включений. Поэтому весьма важно, чтобы наполнитель обладал не только большой активностью химического взаимодействия с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и другими продуктами гидратации клинкера, но и имел поверхность, наиболее совместимую со структурой кристаллизующихся гидратов, для которых эта поверхность служит подложкой. Следовательно, устойчивость физического состояния начальной коагуляционной структуры цементного геля обуславливается взаимодействием составляющих его частиц.

Основными физическими контактами коагуляционной структуры цементного геля являются: большая доля приповерхностных атомов; ненасыщенность атомных связей у поверхности; поверхностные эффекты механических свойств; тонкие физические эффекты взаимодействия электронов со свободной поверхностью [5].

Благодаря вышеуказанным процессам происходит облегченность миграции атомов, наблюдаются более выраженные силы притяжения между атомами, что приводит к склонности к самоорганизации кластерных структур (рис. 1).

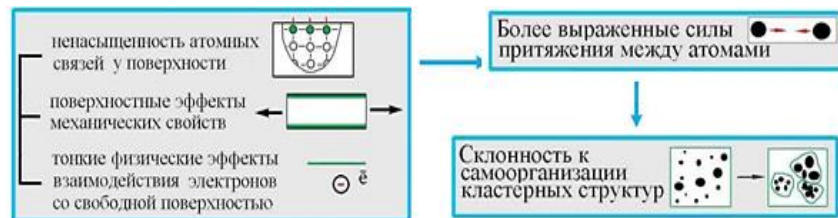


Рис. 1. Возможная самоорганизация контактов коагуляционной структуры цементного камня

Следовательно, устойчивость физического состояния начальной коагуляционной структуры цементного геля обуславливается взаимодействием составляющих его частиц.

Следующий этап формирования кристаллизационно-конденсационной структуры представляет собой контакт прямого срастания кристаллов соответствующих гидратов. Эти принципиально новые виды связей придают структуре качественно новые физико-механические свойства. В отличие от коагуляционной, рассматриваемые структуры под влиянием напряжений деформируются и разрушаются необратимо, самопроизвольно не восстанавли-

ваются. Поэтому механические воздействия (например, вибрирование) на этой стадии с целью совершенствования структуры не только бесполезны, но и вредны. Кристаллизационные контакты, образуя своеобразный жесткий каркас, способствуют резкому увеличению прочности материала; вязкопластичное деформирование переходит в упругохрупкое разрушение. Повышению прочности способствует рост числа контактов прямого срастания, увеличение объёмной концентрации новообразований и плотности геля в пространстве между частицами цемента [4].

Исключительно важным аспектом в вышеуказанном периоде твердения цементного геля является вопрос о природе сил взаимодействия между структурными компонентами, которые способствуют образованию гидрогеля, переходящего в камневидное тело за счет короткодействующих ненасыщенных поверхностных валентных сил.

В настоящей работе рассматривается использование кварцевых отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата в качестве ультрадисперсного наполнителя при производстве бетонов, что позволяет создать наноструктурированный бетон, который обладает высокими физико-механическими показателями.

Физическая модель наноструктурированного цементного камня представлена на рис. 2.

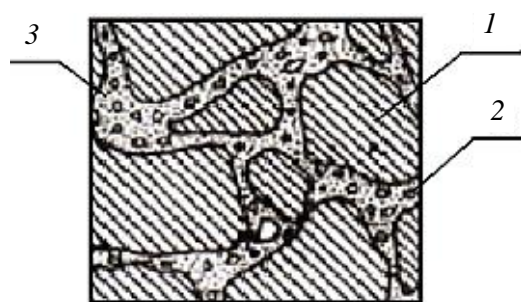


Рис. 2. Наноструктурирование цементного камня:

1 – частицы цемента; 2 – ультрадисперсные кварцевые отходы; 3 – продукты гидратации клинкерных составляющих

В структуре такого цементного камня необходимо различать две составные части: структурный каркас, образованный грубодисперсными частицами, и межзерновую пустотность, состоящую из ультрадисперсных частиц и продуктов гидратации, расположенных в межзерновом пространстве грубодисперсного каркаса.

Процессы гидратации – это типичные формы нанотехнологических процессов, т. к. они протекают на атомно-молекулярном уровне. Технология «сверху-вниз» основана на уменьшении размеров физических тел или структурных объектов механическим или другим способом до ультрадисперсных и ниже размеров. Технология «снизу-вверх», или механосинтез, заключается в сборке создаваемой конструкции непосредственно из продуктов гидратации, состоящих из элементарных структурных элементов-атомов, молекул, структурных фрагментов биологических клеток и т. п. [6].

Основная цель исследования состояла в изучении влияния наполнителя, полученного на основе ультрадисперсных кварцевых отходов, на физико-механические показатели цементного камня.

Для достижения поставленной цели была разработана структурная схема исследования (рис. 3) вторичных кварцевых отходов в качестве ультрадисперсного наполнителя для получения наноструктурированного цементного геля: 1 – пыль местных отсосов системы аспирации (3–6 мкм); 2 – отсев классификации пудры (6–7 мкм); 3 – отходы магнитной сепарации крупки (25–26 мкм).

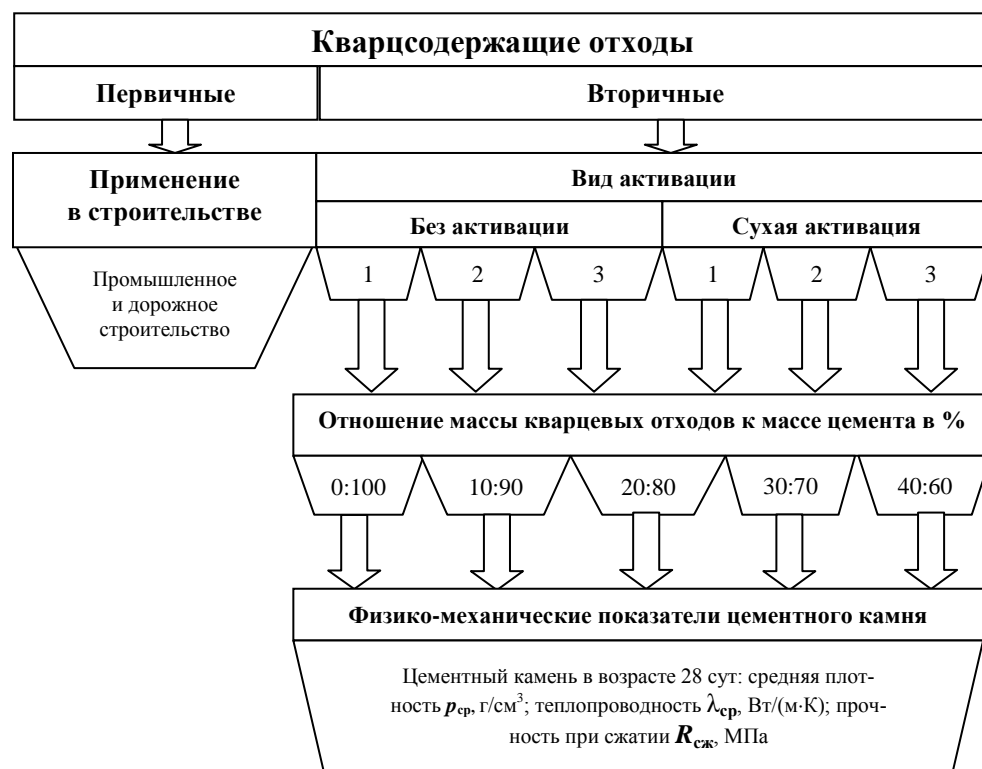


Рис. 3. Структурная схема исследования

Результаты испытаний приведены в табл. 1.

В работе использовались следующие материалы:

1. Вяжущее вещество – цемент ПЦ-400-Д20.
2. Кварцевые отходы от производства особо чистого кварцевого концентрата ООО «Полярный кварц». Вторичные: отходы магнитной сепарации крупки, пудры и пыли классификатора 3–26 мкм.
3. Вода водопроводная.

Образцы изготавливались из цементного теста нормальной густоты с водопотребностью для цемента 100 мл на 400 г. Прочность кварц-цементного камня определялась на образцах в количестве 6 шт. размером 2×2×2 см для каждого состава, согласно структурной схеме исследования.

Для активации отходов использовали центробежную дисковую установку. Данная установка при сухом помоле позволяет получать ультрадисперсные материалы на основе кварцевых отходов (рис. 4).

Таблица 1

Физико-механические показатели испытаний образцов

Вид кварцевых отходов (вторич- ные)	Технология активации	Физико- механические показатели	Отношение массы кварцевых отходов к массе цемента, %				
			0:100 Абсол. величи- на	10:90	20:80	30:70	40:60
				Полученные результаты % от абсолютной величины			
«1» Пыль местных отсосов системы аспирации (рис. 5, а)	Исходная (без активации)	Плотность ρ^{cp} , кг/м ³	$\frac{2397}{100 \%}$	$\frac{2435}{102 \%}$	$\frac{2451}{102 \%}$	$\frac{2470}{103 \%}$	$\frac{2491}{104 \%}$
		Расчетная пористость P_{co} , %	$\frac{4,76}{100 \%}$	$\frac{4,63}{98 \%}$	$\frac{4,45}{94 \%}$	$\frac{4,26}{90 \%}$	$\frac{4,17}{88 \%}$
		Коэффициент теплопровод- ности λ^{cp} , Вт/(м·К)	$\frac{0,406}{100 \%}$	$\frac{0,396}{97 \%}$	$\frac{0,388}{96 \%}$	$\frac{0,381}{94 \%}$	$\frac{0,377}{93 \%}$
		Прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$, МПа	$\frac{64,7}{100 \%}$	$\frac{67,9}{105 \%}$	$\frac{77,1}{119 \%}$	$\frac{82,1}{127 \%}$	$\frac{71,9}{111 \%}$
	Сухая активация	Плотность ρ^{cp} , кг/м ³	$\frac{2401}{100 \%}$	$\frac{2437}{101 \%}$	$\frac{2455}{102 \%}$	$\frac{2474}{103 \%}$	$\frac{2495}{104 \%}$
		Расчетная пористость P_{co} , %	$\frac{4,73}{100 \%}$	$\frac{4,61}{97 \%}$	$\frac{4,41}{93 \%}$	$\frac{4,23}{89 \%}$	$\frac{4,15}{88 \%}$
		Коэффициент теплопровод- ности λ^{cp} , Вт/(м·К)	$\frac{0,405}{100 \%}$	$\frac{0,395}{98 \%}$	$\frac{0,386}{95 \%}$	$\frac{0,379}{94 \%}$	$\frac{0,376}{93 \%}$
		Прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$, МПа	$\frac{65,1}{100 \%}$	$\frac{68,1}{105 \%}$	$\frac{77,6}{119 \%}$	$\frac{82,6}{127 \%}$	$\frac{72,4}{111 \%}$
«2» Отсев классификации пудры (рис. 5, б)	Исходная (без активации)	Плотность ρ^{cp} , кг/м ³	$\frac{2387}{100 \%}$	$\frac{2426}{101 \%}$	$\frac{2443}{102 \%}$	$\frac{2461}{103 \%}$	$\frac{2481}{104 \%}$
		Расчетная пористость, P_{co} , %	$\frac{4,86}{100 \%}$	$\frac{4,71}{97 \%}$	$\frac{4,55}{94 \%}$	$\frac{4,35}{90 \%}$	$\frac{4,26}{88 \%}$
		Коэффициент теплопровод- ности λ^{cp} , Вт/(м·К)	$\frac{0,404}{100 \%}$	$\frac{0,394}{98 \%}$	$\frac{0,386}{96 \%}$	$\frac{0,379}{94 \%}$	$\frac{0,375}{93 \%}$
		Прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$, МПа	$\frac{64,1}{100 \%}$	$\frac{67,2}{105 \%}$	$\frac{76,3}{119 \%}$	$\frac{81,4}{127 \%}$	$\frac{71,0}{111 \%}$

Окончание табл. 1

Вид кварцевых отходов (Вторич- ные)	Технология активации	Физико- механические показатели	Отношение массы кварцевых отходов к массе цемента, %				
			0:100 Абсол. величи- на	10:90	20:80	30:70	40:60
			Полученные результаты % от абсолютной величины				
«2» Отсев классификации пудры (рис. 5, б)	Сухая активация	Плотность ρ^{cp} , кг/м ³	$\frac{2394}{100 \%}$	$\frac{2432}{101 \%}$	$\frac{2447}{102 \%}$	$\frac{2467}{103 \%}$	$\frac{2488}{104 \%}$
		Расчетная пористость, Π_{co} , %	$\frac{4,80}{100 \%}$	$\frac{4,66}{97 \%}$	$\frac{4,50}{94 \%}$	$\frac{4,31}{90 \%}$	$\frac{4,21}{88 \%}$
		Коэффициент теплопровод- ности λ^{cp} , Вт/(м·К)	$\frac{0,402}{100 \%}$	$\frac{0,392}{98 \%}$	$\frac{0,383}{95 \%}$	$\frac{0,376}{94 \%}$	$\frac{0,373}{93 \%}$
		Прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$, МПа	$\frac{64,7}{100 \%}$	$\frac{67,9}{105 \%}$	$\frac{77,1}{119 \%}$	$\frac{82,1}{127 \%}$	$\frac{71,9}{111 \%}$
«3» Отходы магнитной сепарации крупки (рис. 5, в)	Исходная (без активации)	Плотность ρ^{cp} , кг/м ³	$\frac{2378}{100 \%}$	$\frac{2417}{102 \%}$	$\frac{2433}{102 \%}$	$\frac{2451}{103 \%}$	$\frac{2473}{104 \%}$
		Расчетная пористость, Π_{co} , %	$\frac{4,91}{100 \%}$	$\frac{4,75}{97 \%}$	$\frac{4,59}{93 \%}$	$\frac{4,41}{90 \%}$	$\frac{4,3}{88 \%}$
		Коэффициент теплопровод- ности λ^{cp} , Вт/(м·К)	$\frac{0,401}{100 \%}$	$\frac{0,391}{98 \%}$	$\frac{0,383}{96 \%}$	$\frac{0,374}{93 \%}$	$\frac{0,370}{92 \%}$
		Прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$, МПа	$\frac{57,4}{100 \%}$	$\frac{63,1}{110 \%}$	$\frac{71,1}{124 \%}$	$\frac{75,3}{131 \%}$	$\frac{66,0}{115 \%}$
	Сухая активация	Плотность ρ^{cp} , кг/м ³	$\frac{2385}{100 \%}$	$\frac{2423}{102 \%}$	$\frac{2439}{102 \%}$	$\frac{2459}{103 \%}$	$\frac{2478}{104 \%}$
		Расчетная пористость, Π_{co} , %	$\frac{4,85}{100 \%}$	$\frac{4,7}{97 \%}$	$\frac{4,55}{94 \%}$	$\frac{4,37}{90 \%}$	$\frac{4,25}{88 \%}$
		Коэффициент теплопровод- ности λ^{cp} , Вт/(м·К)	$\frac{0,399}{100 \%}$	$\frac{0,389}{97 \%}$	$\frac{0,382}{96 \%}$	$\frac{0,371}{93 \%}$	$\frac{0,369}{92 \%}$
		Прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$, МПа	$\frac{57,9}{100 \%}$	$\frac{63,6}{110 \%}$	$\frac{71,6}{124 \%}$	$\frac{75,9}{131 \%}$	$\frac{66,4}{115 \%}$

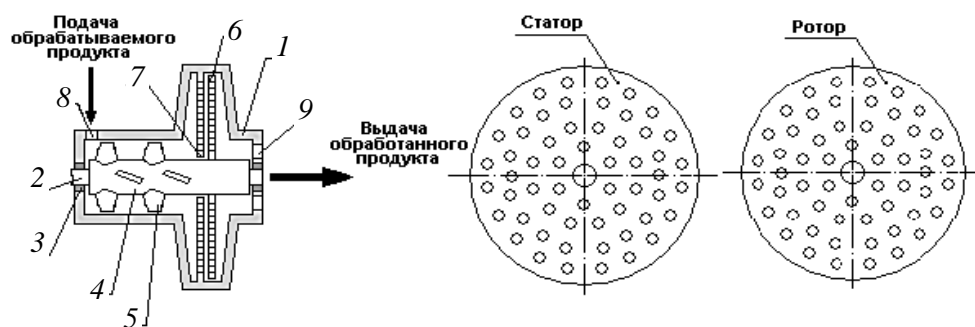


Рис. 4. Схема центробежной дисковой установки

Центробежная дисковая установка состоит из цилиндрического корпуса 1, в котором находятся окна для подачи обрабатываемого продукта 8 и выдачи обрабатываемого продукта 9, установлен вал 4 с лопастями 5, вал закреплен в корпусе с помощью подшипников 3, закрытых внешними втулками для предотвращения оттока обрабатываемого продукта. Вал 2 соединяется с помощью клиноременной передачи со штоком электродвигателя соответствующей мощности. Непосредственно у окна выдачи готового продукта корпус расширяется, соединяясь с неподвижным решетчатым статором 7 дисковой или цилиндрической формы, на самом валу от статора закреплен решетчатый ротор 6, повторяющий его очертания. Расположение отверстий в статоре и роторе идентично, диаметр отверстий одинаковый [2].

Удельная поверхность и средний размер частиц определялись на приборе ПСХ-12 (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические показатели кварцевых отходов

Определяемый показатель	Наименование отхода					
	«1» – пыль местных отсосов системы аспирации		«2» – отсев классификации пудры		«3» – отходы магнитной сепарации крупки	
Технология активации	Без активации	Сухая активация	Без активации	Сухая активация	Без активации	Сухая активация
D (размер частиц), мкм	3–6	2–4	7–11	4–7	25–29	17–20
$S_{уд}$ (удельная поверхность), $см^2/г$	8017–4052	9547–5579	3249–1817	4815–3321	858–501	1951–1575
ρ (насыпная плотность), $г/см^3$	1,93–2,18	1,68–1,86	1,81–2,07	1,61–1,81	1,73–1,83	1,55–1,73

Удельная поверхность заполнителя определяется размером, формой и шероховатостью составляющих его зерен: чем они мельче и больше шеро-

ховатость поверхности, тем значительнее удельная поверхность зерен заполнителя [4].

Весовое распределение размера частиц вторичных отходов кварца до активации и после активации определяли с помощью лазерного анализатора частиц MicroSizer 201. На рис. 5 представлены значения весового распределения размеров частиц отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата: пыль местных отсосов системы аспирации (а), отсев классификации пудры (б), отходы магнитной сепарации крупки (в).

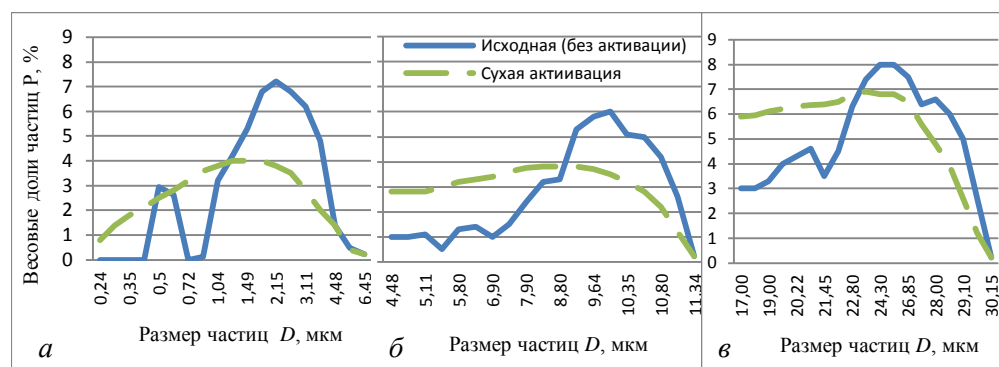


Рис. 5. Весовое распределение размера частиц от производства особо чистого кварцевого концентрата:

а – пыль местных отсосов системы аспирации; б – отсев классификации пудры; в – отходы магнитной сепарации крупки

Структуру затвердевших образцов изучали с помощью электронного растрового микроскопа РЭМ 100У. На микрофотографиях (рис. 6) отчетливо видны игольчатые кристаллы и их сростки, характерные для этtringита (гидросульфосиликата кальция). Призматические кристаллы свидетельствуют о наличии алита, округлые кристаллы – о наличии белита.

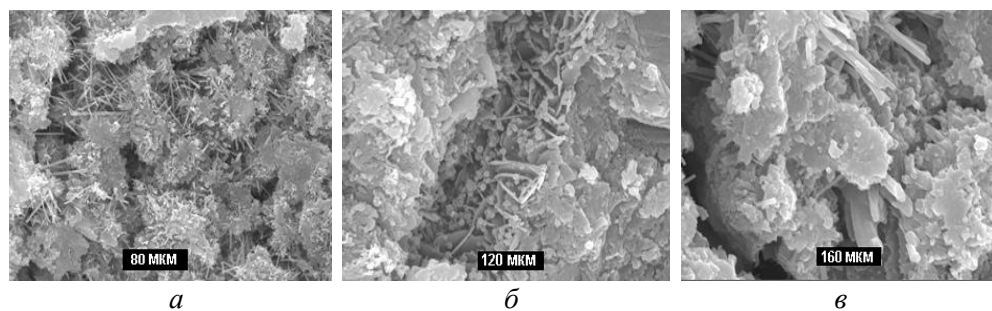


Рис. 6. Микроструктура цементного камня с применением активированных вторичных отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата:

а – отходы магнитной сепарации крупки; б – отсев классификации пудры; в – пыль местных отсосов системы аспирации

На микрофотографиях (рис. 6) порового пространства и порообразующей перегородки идентифицируются сростки из хорошо закристаллизованных

длинноволокнистых гидросиликатов, образующихся как на границе раздела фаз порообразующей перегородки и пространства поры, так и внутри поры. Эти кристаллизационные контакты образуют своеобразный жесткий каркас, состоящий из волокнистых (игольчатых) кристаллов, «прошивающих» поровое пространство бетона, что способствует его упрочнению и повышению предела прочности при сжатии [7].

Также на снимках (рис. 6, в) выявлены гидроксиды кальция, кристаллизующиеся в виде удлинённых кристаллов и массивов, что может способствовать увеличению теплопроводности [Там же].

На основании данных исследований следует сделать вывод, что тонкомолотая составляющая до 20 мкм на основе кварцевых отходов в цементном камне начинает проявлять активность, образуя мосты, связывающие ее с цементной матрицей, а также выполнять роль дискретного армирования. Наличие таких игольчатых наростов может свидетельствовать об увеличении прочностных характеристик материала, т. к. они выполняют армирующую роль в структуре бетона [Там же].

Результаты проведенных исследований показывают, что чем выше удельная поверхность микронаполнителя, получаемого из отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата на заводе в г. Нягань, тем он активнее взаимодействует с другими продуктами гидратации с более быстрым протеканием реакции и образованием тонкодисперсных гидратов.

Полученные результаты показывают, что при оптимальном соотношении 30:70 (массы кварцевых отходов к массе цемента) увеличиваются прочностные характеристики цемента до 28–31 %.

Заключение

На основании полученных результатов можно заключить: использование активированных отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата на заводе в г. Нягань позволяет экономить цемент до 30 %.

Применение ультрадисперсного наполнителя на основе активированных кварцевых отходов позволяет улучшить физико-механические показатели цементного камня, а именно: увеличить плотность от 2 до 4 % и прочность от 20 до 30 %, уменьшить коэффициент теплопроводности до 8 %.

На основании полученных результатов по использованию активированных кварцевых отходов от производства особо чистого кварцевого концентрата в качестве ультрадисперсного кварц-цементного вяжущего подобрано эффективное соотношение (30:70, К: Ц) с областью применения для промышленного и гражданского строительства. Можно предположить, что внедрение в производство полученных результатов исследований приведет к притоку значительных инвестиций в Ханты-Мансийский автономный округ, что положительно скажется на экономическом и социальном положении в округе, а также позволит улучшить экологическую ситуацию региона.

Применение результатов исследования на практике позволит сократить затраты при производстве чистого кварца и понизить себестоимость выпускаемых кварцевых концентратов, повысить конкурентную способность продукции, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду от деятельности

предприятия, ввиду того что в настоящее время получаемые отходы от производства требуют утилизации данного продукта, затрат на упаковку, временное хранение, доставку до полигона по утилизации, содержание полигона и затрат на рекультивацию территории, занятых под утилизацию отходов обогащения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семинский Ж.В., Мальцева Г.Д., Семейкин И.Н., Яхно М.В. Геология и месторождения полезных ископаемых / под общ. ред. Ж.В. Семинского. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2018. 347 с. (Серия: Университеты России).
2. Косач А.Ф., Данилов С.В., Гутарева Н.А., Коротаев М.А. Влияние использования наноразмерных цементно-кремнеземистых систем на прочностные характеристики цементного камня // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2014. № 3. Условия доступа: http://nanobuild.ru/ru_RU/ (дата обращения: 12.01.18).
3. Гусев Б.В. Проблемы создания наноматериалов и развития нанотехнологий в строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2009. № 2. Условия доступа: http://nanobuild.ru/ru_RU/ (дата обращения: 05.01.18).
4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
5. Тимашев В.В., Сычева И.И., Никонова Н.С. Структура самоармированного цементного камня // Избранные труды. Синтез и гидратация вяжущих материалов. М.: Наука, 1986. С. 390–400.
6. Белов В.В. Применение нанотехнологий в строительстве: II Международная научно-практическая online-конференция; II съезд инженеров России, 25–26 ноября 2010 г. // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2010. № 5. Условия доступа: http://nanobuild.ru/ru_RU/ (дата обращения: 12.01.18).
7. Кузнецова И.Н. Влияние химического и минерального состава цемента на теплоизоляционные свойства пенобетона: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Новосибирск, 2009.

REFERENCES

1. Seminsky Zh.V., Maltseva G.D., Semeykin I.N., Yakhno M.V. Geologiya i mestorozhdeniya poleznykh iskopaemykh [Geology and mineral deposits]. 2nd ed., Zh.V. Seminsky, ed. Moscow: Yurait, 2018. 347 p. (rus)
2. Kosach A.F., Danilov S.V., Gutareva N.A., Korotaev M.A. Vliyanie ispol'zovaniya nanorazmernykh tsementno-kremnezemistykh sistem na prochnostnye kharakteristiki tsementnogo kamnya [Strength properties of cement brick modified by nano-sized cement-siliceous systems]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2014. No. 3. Available: http://nanobuild.ru/en_US/ (accessed January 12, 2018). (rus)
3. Gusev B.V. Problemy sozdaniya nanomaterialov i razvitiya nanotekhnologii v stroitel'stve [Problems of nanomaterial creation and nanotechnologies development in construction industry]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2009. No. 2. Available: http://nanobuild.ru/ru_RU/ (accessed January 5, 2018). (rus)
4. Akhverdov I.N. Osnovy fiziki betona [Fundamentals of concrete physics]. Moscow: Stroiizdat, 1981. 464 p. (rus)
5. Timashev V.V., Sycheva I.I., Nikonova N.S. Struktura samoarmirovannogo tsementnogo kamnya [Structure of self-reinforced cement brick]. *Izbrannye trudy. Sintez i gidratatsiya vyazhushchikh materialov*. Moscow: Nauka, 1986. Pp. 390–400. (rus)
6. Belov V.V. II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya onlain-konferentsiya 'Primenenie nanotekhnologii v stroitel'stve' (Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Nanotechnologies in Construction'). *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2010. No. 5. Available: http://nanobuild.ru/ru_EN/ (accessed January 12, 2018). (rus)
7. Kuznetsova I.N. Vliyanie khimicheskogo i mineral'nogo sostava tsementa na teploizolyatsionnye svoystva penobetona: dis. ... k.t.n [Heat-insulating properties of foam concrete influenced by chemical and mineral cement composition. PhD Thesis]. Novosibirsk, 2009. (rus)

Сведения об авторах

Косач Анатолий Федорович, докт. техн. наук, профессор, Югорский государственный университет, 628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16, a_kosach@ugrasu.ru

Кузнецова Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент, Югорский государственный университет, 628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16.

Дарулис Мария Андреевна, аспирант, Югорский государственный университет, 628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16.

Березкина Юлия Викторовна, канд. техн. наук, доцент, Югорский государственный университет, 628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16.

Authors Details

Anatoly F. Kosach, DSc, Professor, Yugra State University, 16, Chekhov Str., Yugra, 628012, Tyumen, Russia, phone / fax: +7 (3467) 357-585, e-mail: a_kosach@ugrasu.ru

Irina N. Kuznetsova, PhD, A/Professor, Yugra State University, 16, Chekhov Str., Yugra, 628012, Tyumen, Russia.

Maria A. Darulis, Research Assistant, Yugra State University, 16, Chekhov Str., Yugra, 628012, Tyumen, Russia.

Yulia V. Berezkina, PhD, A/Professor, Yugra State University, 16, Chekhov Str., Yugra, 628012, Tyumen, Russia.