

УДК 691.54.002.3

**А.Ф. КОСАЧ, И.Н. КУЗНЕЦОВА, Р.Б. КУРБАНОВА, Г.А. ПЕДУН,
С.Е. ПРЕЖИН****ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КВАРЦЕВЫХ ОТХОДОВ
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

Предложена технология получения цементного камня с высокими физико-механическими показателями на основе активированных кварцевых отходов к массе цемента: без активации – 20:80 %; при механической активации – 30:70; при механогидравлической – 40:60; при механогидрохимической активации – 50:50 % для кварц-цементного вяжущего. Обосновано применение ультрадисперсного наполнителя в цементном камне. Представлены физико-механические характеристики цементного камня при механической, механогидравлической и механогидрохимической активации. Получена более плотная структура цементного камня при механогидрохимической активации, в которой основную объемную долю наполнителя составляют частицы кварцевых отходов размерами менее 10 мкм.

К л ю ч е в ы е с л о в а: цементный камень, ультрадисперсный наполнитель, кварцевые отходы, ультрадисперсные кварцевые отходы, коагуляционная структура, прочность при сжатии.

DOI 10.32683/0536-1052-2020-742-10-17-26

В настоящее время технологию цементного камня трудно представить без использования модификаторов специального назначения, затрагивающих более глубокие механизмы структурообразования. Это так называемые нанодобавки или наномодификаторы, применение которых должно быть осознанным, целенаправленным, т.е. научно обоснованным.

Процессы гидратации – это типичные формы нанотехнологических процессов на атомно-молекулярном уровне. Поэтому весьма важно, чтобы наполнитель обладал большой активностью химического взаимодействия с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и другими продуктами гидратации клинкера, а также имел поверхность наиболее совместимую со структурой кристаллизующихся гидратов, для которых эта поверхность служит подложкой, что позволяет определить нанотехнологические процессы с химико-физическим смыслом цементного геля [1, 2].

Искусственная нанотехнология создает наносистемы как «сверху вниз», так и «снизу вверх» (рис. 1). Уже сейчас известны явления самоорганизации наноструктурированных вяжущих, в которых протекают процессы самоорганизации веществ на атомно-молекулярном уровне, позволяющие формировать уникальные структуры материала без внешнего влияния [3].

Технология «сверху вниз» основана на уменьшении размеров физических тел или структурных объектов механическим или комплексом способов до ультрадисперсных размеров. Измельчение – это сложный физико-химиче-

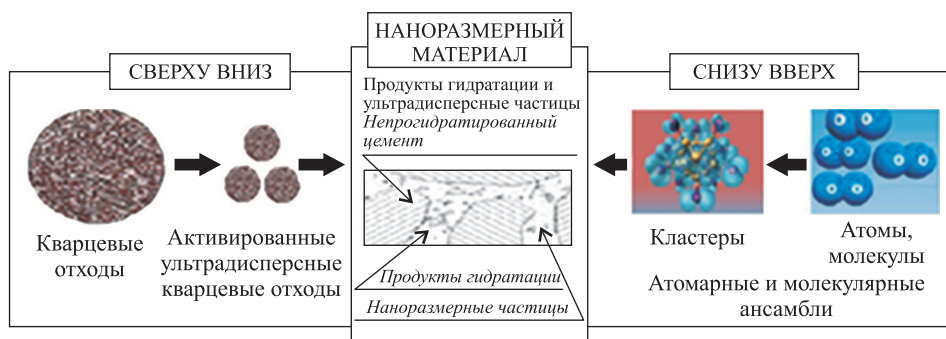


Рис. 1. Технология получения наноструктурированных вяжущих

ский процесс увеличения потенциальной энергии вещества и повышение его химической активности за счет увеличения поверхностной энергии и энергии внутреннего строения.

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. [4, 5].

Гидраты представлены мельчайшими частицами субмикрористаллов с размерами меньше 0,1 мкм, которые создают в прослойках между гидратированными зернами цемента коллоидную систему – тоберморитовый гель. Между частицами возникают коагуляционные контакты, что приводит к образованию коагуляционной структуры. Особенностью этих контактов является обязательное наличие между частицами тонкой устойчивой прослойки воды (пленочная вода) [6, 7].

В данной работе активация кварцевых отходов осуществлялась по механической, механогидравлической и механогидрохимической технологиям активации в мельнице непрерывного действия роторного типа Вьюга-3, которая по степени дисперсности в зависимости от технологии активации позволяет получать ультрадисперсные материалы 10^2 – 10^3 нм.

Цель исследований состояла в получении цементного камня с высокими физико-механическими показателями за счет модификаторов, полученных при механической, механогидравлической (H_2O) и механогидрохимической (H_2O + добавка «Мегалит С-3МЛ») активациях на основе ультрадисперсных кварцевых отходов.

В области наноразмерного масштаба частицы имеют качественные эффекты, определяемые зависимостью химических и физических свойств от соотношения числа атомов в приповерхностных и внутренних объемах частиц. Такие частицы и их ансамбли приобретают иную физико-химическую и механохимическую активность, в силу чего могут принципиальным образом изменять процессы синтеза структурообразования и термодинамическую и энергетическую обстановку в дисперсной системе, какой является структура кварц-цементного камня (рис. 2).

Эффект от введения наноразмерных частиц заключается в том, что в наносистеме появляется не только дополнительная граница раздела фаз, но и носители квантово-механических проявлений.

В результате физических контактов коагуляционной структуры кварц-цементного геля происходит облегченность миграции атомов, наблюдаются более выраженные силы притяжения между атомами, что приводит к склонности самоорганизации кластерных структур. На рис. 3 представлены основные физические причины специфики наноматериалов.

В данной статье рассматривается возможность использования кварцевых отходов в качестве ультрадисперсного нанонаполнителя в цементном камне на минеральном вяжущем, что является актуальным решением в плане физико-механических свойств конечного продукта и экономии цемента. Например, при производстве особо чистого кварцевого концентрата образуется большое количество кварцевых отходов (до 52 % от массы исходного продукта), 24 % из которых образуются в отделении первичного обогащения производственного комплекса Усть-Пуйва и 28 % в отделении г. Нягань. Особым свойством отходов является высокое значение полной свободной поверхностной энергии и особенности строения частиц микрокремнезема, что обуславливает его высокую химическую активность.

Использование тонкомолотых наполнителей и наночастиц измельченных кварцевых отходов производства особо чистого кварцевого концентрата позволяет создать наноструктурированный цементный камень с высокими физико-механическими показателями. При этом нанотехнологические процессы имели место в реакциях, связанных с химическим взаимодействием и кристаллизацией новых наноразмерных образований. Подобные процессы протекают при гидратации цемента и других минеральных нанодобавок. Для

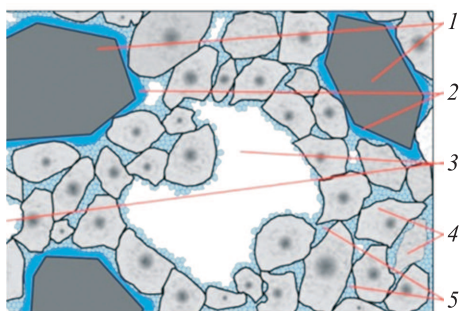


Рис. 2. Структура цементного камня с ультрадисперсными частицами кварцевых отходов

1 – негидратированные частицы цемента; 2 – прослойка воды; 3 – поры; 4 – продукты гидратации; 5 – ультрадисперсные частицы кварцевых отходов

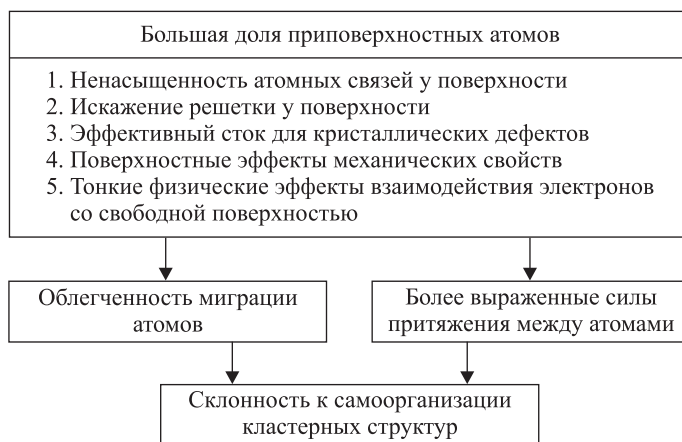


Рис. 3. Основные физические причины специфики наноматериалов

этого необходимо проанализировать достижения в области гидратации и твердения цементного камня.

Эффект от введения наноразмерных частиц в цементный камень выражается в том, что в системе появляется не только дополнительная граница раздела фаз, но и носитель квантово-механических проявлений. Поэтому присутствие в системе наночастиц может существенным образом менять процессы структурообразования и твердения цементного камня. При определении системы требований к наноразмерным частицам как к модификаторам структуры цементного камня можно выделить структурообразующий, технологический и экологический аспекты.

При твердении цементного камня происходит дисперсное взаимодействие коллоидных частиц, от которого зависят плотность структуры и характеристика цементного камня после завершения гидратации вяжущих. В свою очередь, силы дисперсионного взаимодействия имеют статическую природу, зависят от дисперсности и поверхностной активности наночастиц, при этом напряженность поля при таком взаимодействии механизмов в среднем составляет 10 В/м, что приводит к гигантским резонансным усилиям вблизи поверхности частиц [8].

Результатом структурообразующего участия и модифицирующего влияния наноразмерных частиц служит взаимодействие механизмов, обеспечивающих плотность упаковки частиц в цементном камне и уменьшение его общей пористости, механизмов, связанных с возможностью непосредственного химического участия как центров кристаллизации, и механизмов зонирования структур твердения.

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. Благодаря вышеуказанным процессам происходит облегченность миграции атомов, наблюдаются более выраженные силы притяжения между атомами, что приводит к склонности самоорганизации кластерных структур. Следовательно, устойчивость физического состояния начальной коагуляционной структуры цементного геля обуславливается взаимодействием составляющих его частиц [9, 10].

Кристаллизационно-конденсационные структуры представляют собой контакты прямого срастания кристаллов соответствующих гидратов. Эти принципиально новые виды связей придают структуре качественно новые физико-механические свойства [11]. В отличие от коагуляционной, рассматриваемые структуры под влиянием напряжений деформируются и разрушаются необратимо, самопроизвольно не восстанавливаются. Поэтому механические воздействия (например, вибрирование) на этой стадии с целью совершенствования структуры не только бесполезны, но и вредны. Кристаллизационные контакты, образуя жесткий каркас, способствуют резкому увеличению прочности материала; вязкопластичное деформирование переходит в упругохрупкое разрушение. Повышению прочности содействует рост числа контактов прямого срастания, увеличение объемной концентрации новообразований и плотности геля в пространстве между частицами цемента.

Отличительной особенностью технологии строительных материалов на основе высокодисперсных систем является постоянное присутствие твердой фазы в системе, независимо от наличия жидкой и газообразной фаз. Твердая фаза служит носителем основного свойства строительных материалов – прочности, она участвует в формировании всех трех вышеуказанных структур [1].

Частицы твердой фазы – элементарные «кирпичики», из которых формируются различные структуры, прочность которых предопределяется, прежде всего, дисперсностью и гранулометрическим составом частиц. Чем меньше размер частиц, тем меньше внутренних дефектов они содержат, и присутствие таких частиц в исходных дисперсных системах обязательно. В структуре приготовленных исходных дисперсных систем (формовочные массы и смеси, различные суспензии и т.д.) необходимо различать две составные части: структурный каркас, образованный грубодисперсными частицами, и межзерновая пустотность, состоящая из тонкодисперсных частиц и продуктов гидратации, расположенных в межзерновом пространстве грубодисперсного каркаса.

Исключительно важное место в вышеуказанном процессе твердения цементного геля занимает вопрос о природе сил взаимодействия между структурными компонентами, которые способствуют переходу гидрогеля в камневидное тело в результате короткодействующих ненасыщенных поверхностных валентных сил.

Основная цель исследования состояла в исследовании физико-механических свойств цементного камня с заданными характеристиками при увеличении химико-физических процессов за счет повышения удельной поверхности частиц.

Для решения поставленной цели разработана структурная схема исследования вторичных кварцевых отходов в качестве ультрадисперсного наполнителя при производстве цементного камня, получаемого наноструктурированного цементного геля с использованием ультрадисперсных кварцевых отходов: пыль местных отсосов системы аспирации; отсев классификации пудры основная и отходы магнитной сепарации крупки.

Для выполнения исследования применялись следующие материалы:

1. Вяжущее вещество – цемент ЦЕМ II/A-III 42,5Н.
2. Кварцевые отходы от производства особо чистого кварцевого концентрата, АО «Полярный кварц» и вторичные отходы магнитной сепарации крупки (размер частиц 25–29 мкм, удельная поверхность 858–501 см²/г); отсев классификации пудры основная (размер частиц от 7 до 11 мкм, удельная поверхность 3249–1817 см²/г); пыль местных отсосов системы аспирации (размер частиц от 3 до 6 мкм, удельная поверхность 8017–4052 см²/г).

3. Вода водопроводная.

Образцы изготавливали из цементного теста нормальной густоты с водопотребностью для цемента 100 мл на 400 г. Прочность цементного камня определяли на его образцах при отношении массы кварцевых отходов к массе цемента: 0:100; 20:80; 30:70; 40:60; 50:50; 60:40.

Структуру исследуемых образцов изучали с помощью электронного растрового микроскопа РЭМ 100У. На микрофотографии (рис. 4) отчетливо видны игольчатые кристаллы и их сростки, характерные для этрингита (гидро-

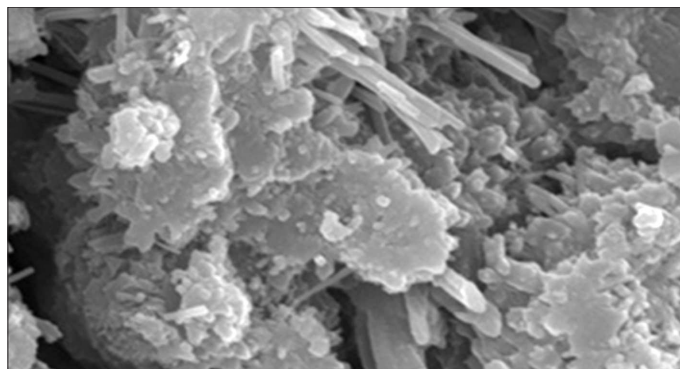


Рис. 4. Микроструктура цементного камня (160 мкм) с применением активированных вторичных отходов производства особо чистого кварцевого концентрата

сульфосиликата кальция). Призматические кристаллы свидетельствуют о наличии алита, округлые – о наличии белита. Эти кристаллизационные контакты образуют своеобразный жесткий каркас, состоящий из волоконистых (игольчатых) кристаллов, «прошивающих» поровое пространство цементного камня, что способствует его упрочнению и повышению предела прочности при сжатии образцов цементного камня.

Выявлены гидроксиды кальция, кристаллизующиеся в виде удлиненных кристаллов и массивов, данные массивы увеличивают теплопроводность.

На основании исследований следует сделать вывод, что тонкомолотая составляющая 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, так как они выполняют армирующую роль в структуре цементного камня [12].

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

Физико-механические показатели полученных образцов устанавливали на приборах: весовое распределение размера частиц – с помощью лазерного анализатора частиц «MicroSizer 201», удельную поверхность и средний размер частиц – на приборе ПСХ-12.

Теплопроводность и термическое сопротивление образцов определяли методом стационарного теплового потока прибором ИТП-МГ4 в соответствии с ГОСТ 7076–99. Для измерения массы данных образцов-кубиков применяли весы Госметр ВЛГЭ-150. Предел прочности при сжатии образцов-кубиков из цементного камня размером 2×2×2 см определен на установке с цифровым модулем для сжатия образцов МАТЕСТ в возрасте 28 сут, приготовленных из цементного теста нормальной густоты. Показатели прочности при сжатии образцов цементного камня представлены в таблице.

Показатели прочности при сжатии образцов цементного камня ($R_{сж}$, МПа)

Вид кварцевых отходов (вторичные)	Технология активации	Отношение массы кварцевых отходов к массе цемента, %					
		0:100	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40
Отходы магнитной сепарации крупки (размер частиц 25–29 мкм, удельная поверхность 858–501 см ² /г)	Без активации	$\frac{62,7}{100}$	$\frac{77,5}{123}$	$\frac{76,2}{121}$	$\frac{74,3}{118}$	$\frac{72,5}{115}$	$\frac{70}{111}$
	Механическая активация	$\frac{62,5}{100}$	$\frac{78,1}{125}$	$\frac{82,0}{131}$	$\frac{79,4}{127}$	$\frac{77,5}{124}$	$\frac{75,6}{121}$
	Механогидравлическая активация $P = 1 \text{ г/см}^3$	$\frac{63,2}{100}$	$\frac{79,6}{126}$	$\frac{82,2}{130}$	$\frac{87,8}{139}$	$\frac{85,3}{135}$	$\frac{82,8}{131}$
	Механогидрохимическая активация $P = 1,15 \text{ г/см}^3$	$\frac{62,9}{100}$	$\frac{79,9}{127}$	$\frac{84,9}{135}$	$\frac{89,3}{142}$	$\frac{92,5}{147}$	$\frac{90}{144}$
Отсев классификации пудры основная (размер частиц от 7 до 11 мкм, удельная поверхность 3249–1817 см ² /г)	Без активации	$\frac{61,1}{100}$	$\frac{65,4}{107}$	$\frac{68,4}{112}$	$\frac{70,3}{115}$	$\frac{65,7}{107}$	$\frac{64,2}{105}$
	Механическая активация	$\frac{63,3}{100}$	$\frac{68,9}{109}$	$\frac{72,8}{115}$	$\frac{74,1}{117}$	$\frac{71,5}{113}$	$\frac{69,5}{110}$
	Механогидравлическая активация $P = 1 \text{ г/см}^3$	$\frac{63,6}{100}$	$\frac{69,7}{110}$	$\frac{78,8}{124}$	$\frac{82,0}{129}$	$\frac{80,8}{127}$	$\frac{78,7}{124}$
	Механогидрохимическая активация $P = 1,15 \text{ г/см}^3$	$\frac{64,1}{100}$	$\frac{76,3}{119}$	$\frac{80,1}{125}$	$\frac{82,7}{129}$	$\frac{81,4}{127}$	$\frac{78,2}{122}$
Пыль местных отсосов системы аспирации (размер частиц от 3 до 6 мкм, удельная поверхность 8017–4052 см ² /г)	Без активации	$\frac{59,7}{100}$	$\frac{68,6}{115}$	$\frac{72,2}{121}$	$\frac{77,0}{129}$	$\frac{78,2}{131}$	$\frac{75,8}{127}$
	Механическая активация	$\frac{62,3}{100}$	$\frac{72,9}{117}$	$\frac{76,0}{122}$	$\frac{81,6}{131}$	$\frac{85,4}{137}$	$\frac{82,9}{133}$
	Механогидравлическая активация $P = 1 \text{ г/см}^3$	$\frac{62,9}{100}$	$\frac{74,8}{119}$	$\frac{80,5}{128}$	$\frac{87,4}{139}$	$\frac{89,9}{143}$	$\frac{88,0}{140}$
	Механогидрохимическая активация $P = 1,15 \text{ г/см}^3$	$\frac{63,1}{100}$	$\frac{78,7}{125}$	$\frac{84,4}{134}$	$\frac{90,0}{143}$	$\frac{95,1}{151}$	$\frac{91,4}{146}$

Примечание. В числителе указана прочность, в знаменателе – проценты.

Полученные результаты показывают, что при оптимальном соотношении 50:50 массы кварцевых отходов к массе цемента увеличиваются его прочностные характеристики до 30–51 %.

Выводы. 1. Предложена технология получения цементного камня, позволяющая экономить цемент в зависимости от технологии активации от 25 до 45 %.

2. Применение ультрадисперсного наполнителя на основе активированных кварцевых отходов дает возможность улучшить физико-механические показатели цементного камня, увеличить его плотность от 2 до 4 %, прочность от 30 до 51 %, удельную поверхность минимум в 4 раза.

3. Подобрано эффективное соотношение массы активированных кварцевых отходов к массе цемента: без активации – 20:80 %; при механической активации – 30:70; при гидравлической – 40:60; при гидрохимической активации – 50:50 % для кварц-цементного вяжущего с областью применения как для промышленного, так и для гражданского строительства.

4. Применение ультрадисперсного наполнителя на основе активированных кварцевых отходов производства особо чистого кварцевого концентрата 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, так как отходы производства требуют утилизации данного продукта, затрат на упаковку, временное хранение, доставку до полигона по утилизации, содержание полигона и на рекультивацию территории, занятых под утилизацию отходов обогащения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Косач А.Ф., Рацупкина М.А., Кузнецова И.Н., Дарулис М.А.* Влияние ультрадисперсного наполнителя на основе золы гидроудаления на свойства цементного камня // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21, № 1. С. 150–158.
2. *Тевяшев А.Д., Шитиков Е.С.* О возможности управления свойствами цементобетонов с помощью наномодификаторов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. Т. 4/7, № 40. С. 35–40.
3. *Darulis M.A., Kuznetsova I.N., Kosach A.F.* Structure and properties of the cement stone modified by ultradispersed quartz waste // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012032.
4. *Лесовик В.С.* О развитии научного направления «Наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. № 28. С. 18–20.
5. *Саркисов Ю.С., Копаница Н.О., Касаткина А.В.* О некоторых аспектах применения наноматериалов и нанотехнологий в строительстве // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 4. С. 226–234.
6. *Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Альмов М.И., Кротов А.М.* Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения: Учеб. пособие. М., 2007. 125 с.
7. *Тимашев В.В., Сычева И.И., Никонова Н.С.* Структура самоармированного цементного камня // Тимашев В.В. Избранные труды. Синтез и гидратация вяжущих материалов. М.: Наука, 1986. С. 390–400.
8. *Шмитько Е.И., Крылова А.В., Шаталова В.В.* Химия цемента и вяжущих веществ // Проспект науки. СПб., 2006. 206 с.
9. *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.
10. *Чернышов Е.М., Коротких Д.Н.* Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2008. № 5. С. 30–32.
11. *Kuznetsova I.N., Darulis M.A., Kosach A.F.* Technology of foam concrete production with ultradispersed quartz waste // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012031.

12. *Косач А.Ф., Кузнецова И.Н., Педун Г.А., Гутарева Н.А.* Разработка состава пескобетона на основе шламоцементных вяжущих // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.* 2020. № 1-2. С. 34–37.

Косач Анатолий Федорович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: a_kosach@ugrasu.ru

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Кузнецова Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доц.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Курбанова Разият Багаудтиновна, асп.; E-mail: kurbanovarb@yandex.ru

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Педун Геннадий Алексеевич, асп.; E-mail: pedun_ga@mail.ru

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск

Прежин Сергей Евгеньевич, гл. инж.

АО «Полярный кварц», г. Нягань

Получено после доработки 19.09.2020

Kosach Anatoliy Fedorovich, DSc, Professor; E-mail: a_kosach@ugrasu.ru

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Kuznetsova Irina Nikolaevna, PhD, Ass. Professor

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Kurbanova Raziyat Bagaudtinovna, Post-graduate Student;

E-mail: kurbanovarb@yandex.ru

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Pedun Gennadiy Alekseevich, Post-graduate Student; E-mail: pedun_ga@mail.ru

Siberian State Automobile and Road University (SibADI), Omsk, Russia

Prezhin Sergey Evgen'evich, Chief Engineer

Polar quartz joint-Stock company, Nyagan, Russia

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF QUARTZ WASTE ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT STONE

The article presents the use of ultrafine filler based on activated quartz waste from the production of high-purity quartz concentrate in the structure of cement stone. A technology for producing cement stone with high physical and mechanical properties based on activated quartz waste to the mass of cement is proposed: without activation – 20:80 %; with mechanical activation – 30:70; with hydraulic activation – 40:60; with hydrochemical activation – 50:50 % for quartz-cement binder. The use of ultrafine filler in cement stone. The physical and mechanical characteristics of cement stone are presented for the following activation methods: mechanical, mechanical-hydraulic and mechanical-hydrochemical. A denser structure of cement stone was obtained at 7 % dry activation, in which the bulk of the filler consists of quartz waste particles less than 10 microns in size.

Key words: cement stone, ultradispersed additives, quartz waste, ultradisperse quartz waste, coagulation structure, compressive strength.

REFERENCES

1. *Kosach A.F., Rashchupkina M.A., Kuznetsova I.N., Darulis M.A.* Vliyaniye ul'tradispersnogo napolnitelya na osnove zoly gidroudaleniya na svoystva tsementnogo kamnya [Influence of ultradispersed filler based on hydro removal ash on the properties of cement stone]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. 2019. Vol. 21, No. 1. Pp. 150–158. (in Russian)

2. *Tevyashev A.D., Shitikov E.S.* O vozmozhnosti upravleniya svoystvami tsementobetonov s pomoshch'yu nanomodifikatorov [On the possibility of controlling the properties of cement concrete using nanomodifiers]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern European Journal of Advanced Technologies]. 2009. T. 4/7, No. 40. Pp. 35–40. (in Russian)
3. *Darulis M.A., Kuznetsova I.N., Kosach A.F.* Structure and properties of the cement stone modified by ultradispersed quartz waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. C. 012032.
4. *Lesovik V.S.* O razvitiy nauchnogo napravleniya «Nanosistemy v stroitel'nom materialovedenii» [On the development of the scientific direction «Nanosystems in Building Materials Science»]. *Stroitel'nyye materialy* [Building Materials]. 2006. No. 28. Pp. 18–20. (in Russian)
5. *Sarkisov Yu.S., Kopanitsa N.O., Kasatkina A.V.* O nekotorykh aspektakh primeneniya nanomaterialov i nanotekhnologiy v stroitel'stve [On some aspects of the application of nanomaterials and nanotechnology in construction]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. 2012. No. 4. Pp. 226–234. (in Russian)
6. *Baloyan B.M., Kolmakov A.G., Alymov M.I., Krotov A.M.* Nanomaterialy. Klassifikatsiya, osobennosti svoystv, primeneniye i tekhnologii polucheniya: Uchebnoye posobiye [Nanomaterials. Classification, features of properties, application and technology of production. Textbook]. Moscow, 2007. 125 p. (in Russian)
7. *Timashev V.V., Sycheva I.I., Nikonova N.S.* Struktura samoarmirovannogo tsementnogo kamnya [Structure of self-reinforced cement stone]. *Timashev V.V. Izbrannyye trudy. Sintez i gidratatsiya vyazhushchikh materialov* [Timashev V.V. Selected works. Synthesis and hydration of binders]. Moscow, 1986. Pp. 390–400. (in Russian)
8. *Shmit'ko E.I., Krylova A.V., Shatalova V.V.* Khimiya tsementa i vyzhushchikh veshchestv [Chemistry of cement and binders]. *Prospekt nauki* [Prospect of Science]. St. Petersburg, 2006. 206 p. (in Russian)
9. *Kosach A.F., Kuznetsova I.N., Darulis M.A., Berezkina Yu.V.* Vliyaniye ul'tradispersnykh kvartseyvykh otkhodov kak napolnitelya na strukturu i svoystva tsementnogo kamnya [Influence of ultradispersed quartz waste as a filler on the structure and properties of cement stone]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. 2018. Vol. 20, No. 6. Pp. 148–159. (in Russian)
10. *Chernyshov E.M., Korotkikh D.N.* Modifitsirovaniye struktury tsementnogo kamnya mikro- i nanorazmernymi chastitsami kremnezema (voprosy teorii i prilozheniy) [Modification of the cement stone structure by micro- and nanoscale silica particles (theory and applications)]. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye i tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment and technologies of the XXI century]. 2008. No. 5. Pp. 30–32. (in Russian)
11. *Kuznetsova I.N., Darulis M.A., Kosach A.F.* Technology of foam concrete production with ultradispersed quartz waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. C. 012031.
12. *Kosach A.F., Kuznetsova I.N., Pedun G.A., Gutareva N.A.* Razrabotka sostava peskobetona na osnove shlamotsementnykh vyazhushchikh [Development of the composition of sand concrete based on slime cement binders]. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies of the XXI century]. 2020. No. 1-2. Pp. 34–37. (in Russian)