

УДК 625.731.82

UDC 625.731.82

МЕХАНОАКТИВАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

MECHANICAL ACTIVATION PROCESSING OF A FILLER FOR FINE-GRAINED CONCRETE QUALITY IMPROVEMENT

Андреева Айталина Валентиновна
м.н.с.

Andreeva Aitalina Valentinovna
Junior Scientist Researcher

Давыдова Наталья Николаевна
н.с.

Davydova Natalya Nikolaevna
Scientist Researcher

Буренина Ольга Николаевна
к.т.н., в.н.с.
*ФГБУН Институт проблем нефти и газа
СО РАН, Якутск, Россия*

Burenina Olga Nikolaevna
Cand.Tech.Sci., Leading Scientist
*Federal State-funded Research Institution Institute
of Oil and Gas Issues, the Siberian branch of
Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia*

Представлены результаты исследования влияния механической активации заполнителя – речного песка – на физико-механические и структурные свойства мелкозернистых бетонов. Установлена перспективность использования механоактивационных технологий для изготовления бетонов с улучшенным комплексом технических характеристик

The results of research of influence of mechanical activation of filler (river sand) on physical, mechanical and structural properties of fine-grained concrete are presented in the article. The prospects of using mechanical activation technologies for production of concrete with the improved complex of technical characteristics are established

Ключевые слова: МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН, МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ, МОРОЗОСТОЙКОСТЬ

Keywords: FINE-GRAINED CONCRETE, MECHANICAL ACTIVATION, WATER ABSORPTION, FROST RESISTANCE

Доля и роль качественных бетонов в мировой строительной индустрии стремительно возрастает и сопровождает развитие новых методов и подходов при разработке композиционных материалов на основе бетонных смесей. Одним из подходов в решении этого вопроса является использование недорогих местных минеральных добавок природного происхождения. Общеизвестно, что введение минеральных наполнителей в качестве составляющих бетонных смесей является одним из существенных резервов повышения экономичности цементных композиций по стоимости и расходу цемента и улучшения технических свойств бетонов. Однако [1], во многих случаях исследователи отмечают, что необходимым условием получения эффективных модифицирующих добавок целесообразным является их активация на помольных агрегатах различных типов.

Ранее проведенными исследованиями [2] установлена возможность повышения прочностных свойств мелкозернистых бетонов путем механоактивации части вяжущего. Однако на свойства мелкозернистого бетона также влияют и свойства заполнителя – песка. Так, крупность, качество поверхности, прочность зерен, гранулометрический состав определяют плотность и прочность упаковки зерен песка, сцепление между ними и цементным камнем и, следовательно, свойства мелкозернистого бетона.

При исследовании цементного теста с добавлением высокодисперсного песка в работе [3] установлено, что при повышении дисперсности песка и росте его содержания в композиции скорость гидратации повышается. Это объяснено тем, что частицы песка служат подложкой для кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из поровой жидкости. При росте водосодержания композиций перемещение ионов Ca^{2+} и OH^- к поверхности частиц песка облегчается, что приводит к интенсификации процесса образования и роста кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Таким образом, повышение тонкости помола цемента и специальные мероприятия, обеспечивающие диспергацию частиц и пор, способствуют получению высококачественной тонкозернистой структуры. В этой связи вновь становится актуальной механохимическая активация компонентов бетонной смеси, в частности, песка.

В качестве вяжущего использовали портландцемент ПЦ 400-Д0 производства ОА «Якутцемент». Активность при пропаривании 39,2 МПа ($\text{кг}/\text{см}^2$), истинная плотность $3,1 \text{ г}/\text{см}^3$, нормальная густота не более 27,0%.

В качестве заполнителя использовался речной песок из поймы р. Лена, относящийся к группе «очень мелкий» $M_{кр} = 1,1-1,3$. Средняя плотность песка $2640 \text{ кг}/\text{м}^3$, песок не содержит вредных примесей. Насыпная плотность составляет $1395 \text{ кг}/\text{м}^3$. Содержание пылевидных и глинистых частиц - от 0,9 до 1,3 %.

Исследования гранулометрического состава заполнителя проводили ситовым методом рассеивания на вибрационной установке, а также методом лазерной гранулометрии на установке «MicroSizer-201». Удельную поверхность определяли на анализаторе «СОРБОМЕТР-М» по методу БЭТ (газ-адсорбат).

Электронно-микроскопические исследования были проведены на сканирующем микроскопе JSM-6480 LV «JEOL» и оптическом микроскопе МБС-10.

Механоактивацию заполнителя проводили на 4 типах лабораторных мельниц, реализующих метод свободного удара: лабораторной шаровой, планетарной - АГО-2, Пульверизетте-6 и центробежной - ЦЭМ-7.

Для определения физико-механических свойств материалов были изготовлены бетонные образцы размером 7х7х7 см, Ц:П = 1:1,3 при В/Ц = 0,4 с разным содержанием (10, 20, 30 и 50 масс.%) песка, активированного в планетарной мельнице АГО-2 в течение 1, 2, 3 и 5 минут. Подвижность бетонной смеси поддерживалась постоянной П2, осадка конуса составляла 8 см. Готовые бетонные образцы твердели в течение 28 суток в условиях естественной сушки при температуре воздуха $20\pm 2^\circ\text{C}$ и влажности воздуха $50\pm 5\%$.

Физико-механические свойства образцов мелкозернистого бетона определены по стандартным методикам: предел прочности при сжатии - согласно ГОСТ 10180-90 на прессе ИП-1А-1000 при скорости нагружения 3,5 кН/сек, водопоглощение - согласно ГОСТ 12730.3-78, морозостойкость - по ускоренному методу при многократном замораживании и оттаивании согласно ГОСТ 10060.2-95.

Гранулометрический состав исходного и механоактивированного на разнотипных аппаратах песка определяли методом лазерной гранулометрии на «MicroSizer-201». Анализ представленных на рис. 1, 2 результатов исследования, свидетельствует о полидисперсности

заполнителя. Распределение частиц по размерам характеризуется основным пиком в области от 100 до 40 мкм со смещением в стороны мелких пылевидных частиц.

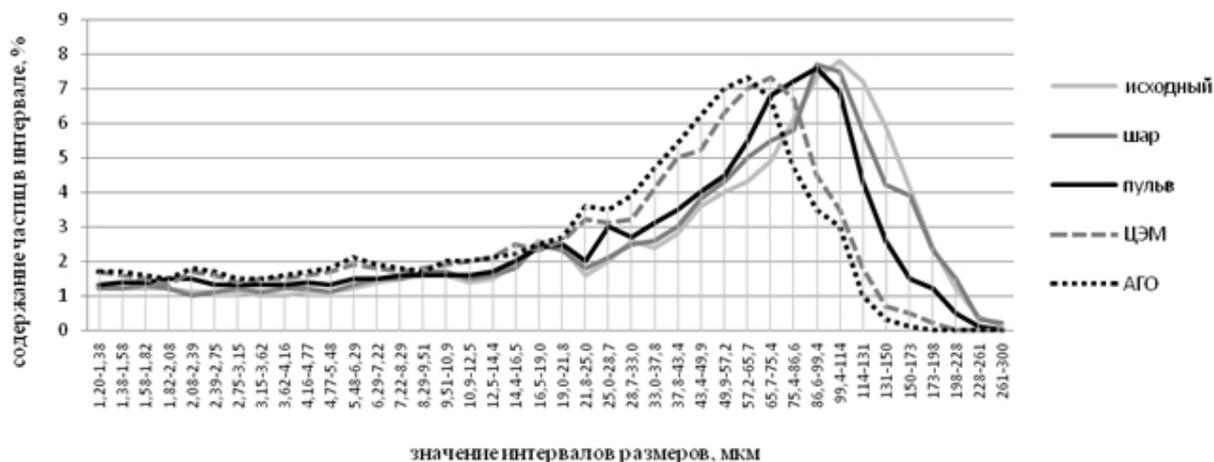


Рисунок 1. График распределения по размерам частиц песка, механоактивированного на разнотипных аппаратах

Установлено, что, независимо от вида и направления ударной нагрузки, разрушение зерен песка происходит строго по одним и тем же дефектным зонам. Различие в соотношении мелких и крупных частиц, вероятно, связано лишь со скоростью «раскрытия» одних дефектных зон по отношению к другим.

Наиболее лучшее диспергирование песка наблюдается при активации в планетарной мельнице АГО-2, значительно уменьшается размер частиц и увеличивается содержание частиц более мелкой фракции (менее 5 мкм).

Исследования гранулометрического состава коррелируют с результатами по значениям удельной поверхности, полученными методом БЭТ, и подтверждают преимущество механоактивации в планетарной мельнице АГО-2. Так, удельная поверхность механоактивированного в течение 2 мин в планетарной мельнице АГО-2 песка увеличилась в 2,5 раза по сравнению с исходным песком – 2,299 м²/г против 0,886 м²/г.

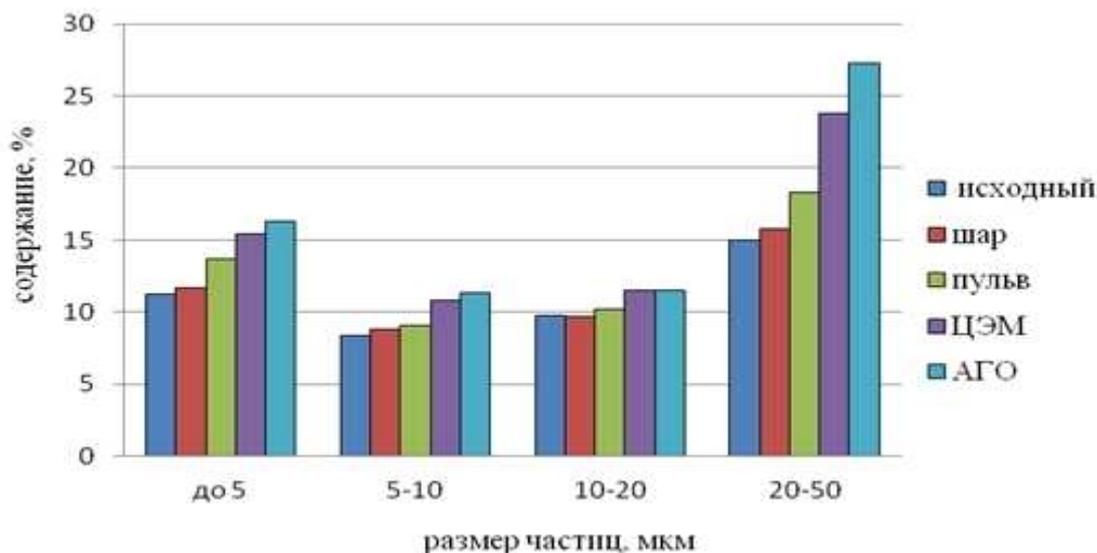


Рисунок 2. Процентное содержание частиц механоактивированного песка в интервале от 50 до 5 мкм

Рост удельной поверхности увеличивает количество атомов в поверхностном слое песка с электронными связями, в результате поверхностная часть свободной энергии увеличивается до значений, сравнимых с объёмной долей. Таким образом, механоактивация способствует повышению значения полной свободной поверхностной энергии речного песка. Избыток свободной поверхностной энергии тонкомолотого механоактивированного песка обуславливает его высокую реакционную способность [2].

При оценке эффективности активации, помимо удельной поверхности, гранулометрического состава частиц и концентрации активных центров на поверхности измельчаемого материала, необходимо учитывать изменение формы частиц, которая, в значительной степени, зависит от способа воздействия на него мелющих тел. Также важной характеристикой качества поверхности песка является содержание пылевидных и глинистых частиц, примесей, обволакивающих зерна песка, которые снижают прочность сцепления заполнителя с цементным камнем.

Так, например, всего несколько процентов глинистых частиц в песке, способны на 30-50 % снизить силы сцепления зерен песка и зерен цемента.

На рис. 3 представлены микрофотографии зерен исходного и активированного в течение 2 мин в планетарной мельнице АГО-2 речного песка. На фотографиях (рис. 3.а, 3.б) хорошо виден характер изменения поверхности песка после механоактивации. Окатанные исходные гранулы приобрели четкие угловатые очертания. Изменение цвета песка произошло вследствие очистки поверхности зерен от нежелательных образований. Изменился и характер поверхности, вместо блестящей и гладкой, она стала матовой и шероховатой. Кристаллы песка до механоактивации представляли собой окатанные зерна размерами от 10 до 20 мкм, после механоактивации их размеры уменьшились до 5 мкм.

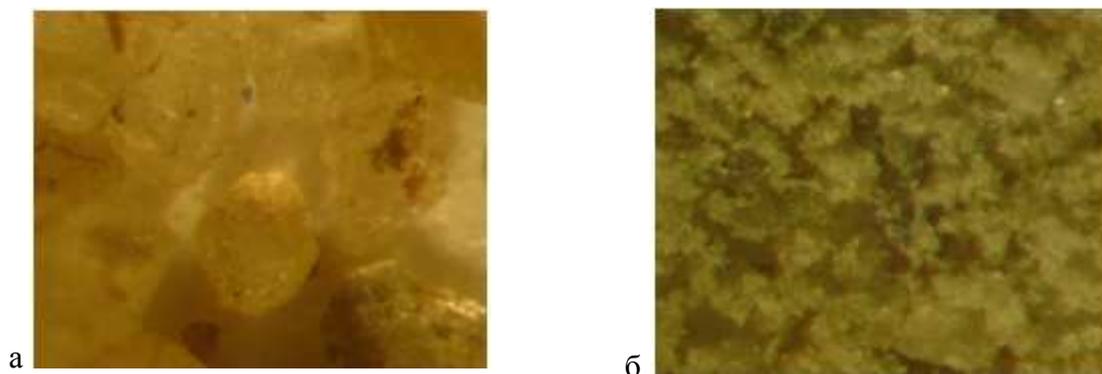


Рисунок 3. Зерна речного песка до (а) и после механоактивации (б)
(32 кратное увеличение на микроскопе МБС-10)

С целью оценки влияния механической активации заполнителя на механические свойства бетонов была определена прочность при сжатии образцов, содержащих различное количество механоактивированного песка.

Установлено, рис. 4, что прочность при сжатии модифицированных образцов, независимо от количества вводимого механоактивированного песка и времени активации, превосходит прочность при сжатии исходных образцов до 1,5 раз. Однако, наилучшие показатели прочности при сжатии наблюдаются у образцов, содержащих 10, 20, 30 масс.%

механоактивированного в течение 1 мин заполнителя. При этом плотность модифицированных образцов увеличивается до 10 % по сравнению с плотностью исходных бетонных образцов.

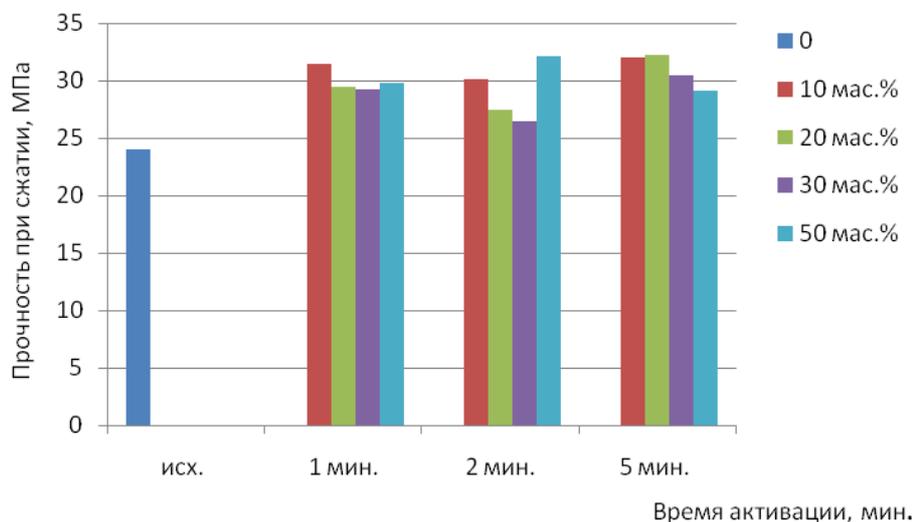


Рисунок 4. Зависимость прочности при сжатии образцов от состава и времени активации образцов в условиях нормальной сушки в 28 проектном возрасте

Известно, что большинство бетонов представляют собой пористо-капиллярную структуру, которой свойственна достаточно высокая степень водопоглощения. На величину водопоглощения особое влияние оказывают характер и размер открытых пор материала, которые, в свою очередь, зависят от значений плотности образца. На рис. 5 представлены кинетические кривые водопоглощения образцов мелкозернистого бетона в зависимости от содержания механоактивированной части песка и времени активации.

Установлено, что водопоглощение модифицированных бетонных образцов снижается от 5 % до 15 % по сравнению с исходными образцами, что подтверждается полученными данными по прочности при сжатии и плотности образцов. Причем наилучшие показатели водопоглощения наблюдаются у образцов, выбранных ранее рецептур, <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/023.pdf>

содержащих 10, 20, 30 масс.% механоактивированного в течение 1 мин заполнителя.

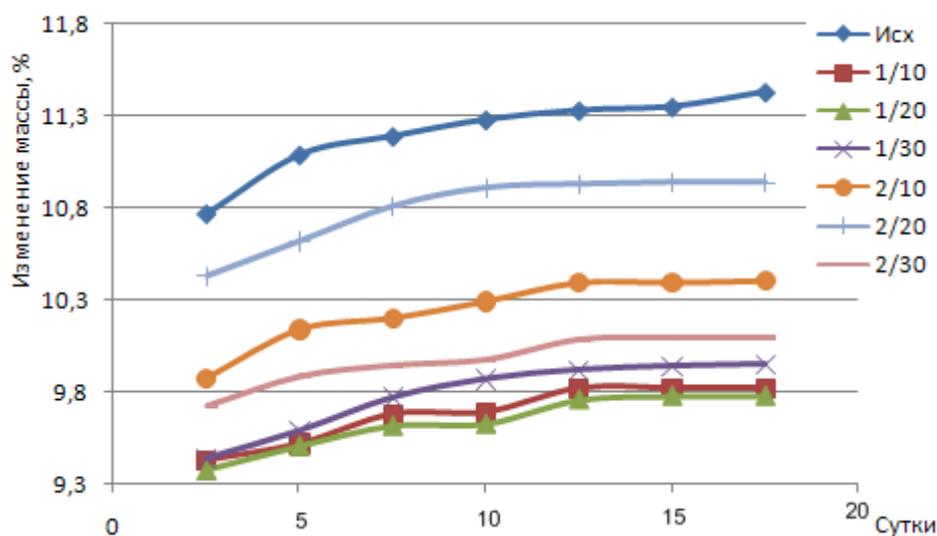


Рисунок 5. Кинетические кривые водопоглощения образцов (в числителе – время активации, в знаменателе – количество механоактивированного песка, масс.%).

Остаточная прочность после водопоглощения, характеризующая водостойкость бетонных образцов, представлена на рис. 6.

Установлено, что остаточная прочность при сжатии образцов всех рецептур увеличивается после испытаний на водопоглощение на 10 - 80 %, при этом коэффициент размягчения находится в пределах 1,02-1,2. Визуальный осмотр влажных образцов не выявил явных внешних повреждений, кроме отшелушивания поверхности.

По морозостойкости (рис.6) все образцы, модифицированные механоактивированным песком, соответствуют марке F300. При этом, если прочность при сжатии исходных образцов после циклического промораживания-оттаивания снижается на 17%, прочность при сжатии образцов, модифицированных механоактивированным песком, увеличивается до 50%.

Свойства модифицированных мелкозернистых бетонов обусловлены изменениями, происходящими при механоактивации песка, и включают образование активных центров на свежесформованной поверхности;

формирование поверхностного слоя, в котором концентрируется «избыточная» энергия, за счет чего повышается химическая активность песка при нормальных условиях и изменяется его реакционная способность; закрепление зародышей новообразований продуктов гидратации цемента на месте выхода дислокаций на поверхности кристаллов песка.

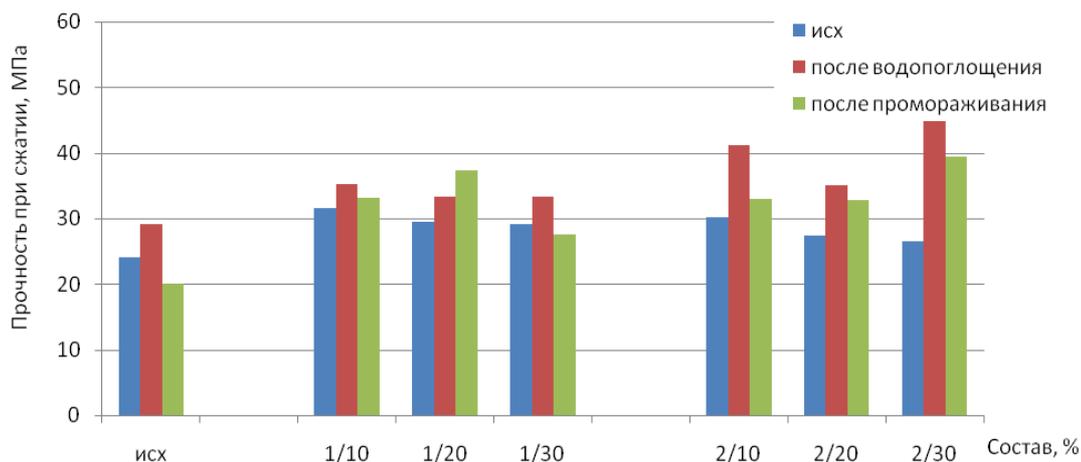
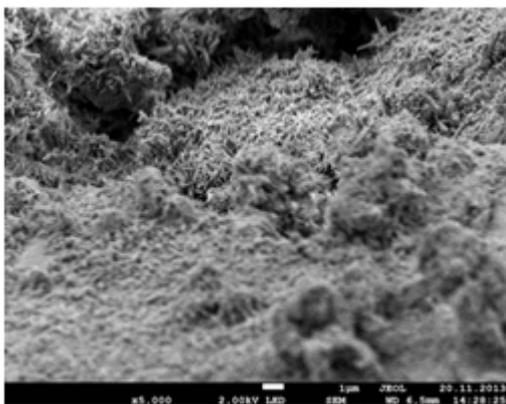
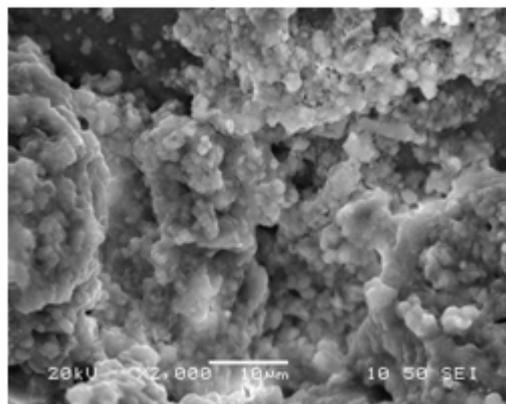


Рисунок 6. Зависимость прочности при сжатии образцов от состава и времени активации заполнителя после водопоглощения и промораживания-оттаивания (в числителе – режим активации в мин., в знаменателе – количество механоактивированного песка, масс.%)

На рис.7 представлены результаты микроскопического исследования бетона, содержащего механоактивированный песок. При введении в бетон механоактивированного песка структура бетона более выраженная, новообразования имеют четкую форму, т.е. гидратационные процессы протекают в полном объеме, что, безусловно, определяется гидрофобностью песка.



Исходный образец бетона



Образец бетона, механоактивированного песком

Рисунок 7. Микроструктура исходного и модифицированного механоактивированным песком образцов мелкозернистого бетона

Следует отметить, что наиболее плотной упаковкой характеризуется образец бетона, содержащий механоактивированный песок. Таким образом, механоактивация существенно повышает скорость протекания гидратационных процессов. При этом также наблюдается, что цементный камень в проектном возрасте, содержащий активированный песок, полностью сформирован – межзерновое пространство заполнено плотной сеткой гидратированного вяжущего, тогда как структура исходного бетона продолжает формироваться.

В результате работы установлено увеличение прочности при сжатии модифицированных механоактивированным речным песком бетонных образцов, в том числе после водонасыщения и замораживания – оттаивания, обусловленное формированием поверхностного слоя на зернах песка, в котором концентрируется «избыточная» энергия, за счет чего повышается его химическая активность при нормальных условиях и изменяется его реакционная способность.

Работа выполнена при поддержке проекта № 12-08-98508 «Разработка технологий механоактивационной обработки местного минерального сырья для повышения качества бетонов», по региональному конкурсу грантов РФФИ_Арктика.

Список использованной литературы

1. Батяновский, Э. И. Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева [Текст] / Э. И. Батяновский, А. А. Дрозд, А. В. Смоляков // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1. – С. 73–79.
2. Андреева, А.В. Влияние модифицированных минеральных добавок на прочностные свойства мелкозернистого бетона / А.В. Андреева, Н.Н. Давыдова, О.Н. Буренина, Е.С. Петухова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097).
3. Лотов В. А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий [Текст] / В. А. Лотов // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – № 3. – С. 84–88.

References

1. Batjanovskij, Je. I. Svojstva cementa i cementnogo kamnja s mineral'noj dobavkoj v vide molotogo granitnogo otseva [Tekst] / Je. I. Batjanovskij, A. A. Drozd, A. V. Smoljakov // Stroitel'naja nauka i tehnika. – 2009. – № 1. – S. 73–79.
2. Andreeva, A.V. Vlijanie modifitsirovannyh mineral'nyh dobavok na prochnostnye svojstva melkozernistogo betona / A.V. Andreeva, N.N. Davydova, O.N. Burenina, E.S. Petuhova // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №03(097).
3. Lotov V. A. Nanodispersnye sistemy v tehnologii stroitel'nyh materialov i izdelij [Tekst] / V. A. Lotov // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2007. – № 3. – S. 84–88.