

УДК 625.731.82

UDC 625.731.82

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ ИНГРЕДИЕНТОВ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

**INFLUENCE OF A WAY OF CRUSHING ON ACTIVITY OF INGREDIENTS OF CONCRETE MIX**

Буренина Ольга Николаевна  
к.т.н.

Burenina Olga Nikolaevna  
Cand.Tech.Sci., Leading Scientist

Давыдова Наталья Николаевна  
н.с

Davydova Natalya Nikolaevna  
Scientist Researcher

Андреева Айталипа Валентиновна  
м.н.с.

Andreeva Aitalina Valentinovna  
Junior Scientist Researcher

Саввинова Мария Евгеньевна  
н.с  
*ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия*

Savvinova Maria Evgenyevna  
Scientist Researcher  
*Federal State-funded Research Institute of Oil and Gas Issues, the Siberian branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia*

Приведены результаты исследований влияния способа измельчения на активность ингредиентов бетонной смеси. Показано, что измельчение песка методом свободного удара в планетарной мельнице АГО-2 позволяет не только повысить его удельную поверхность, получить требуемый гранулометрический состав, но и улучшить качество поверхности частиц путем удаления, разрушения поверхностных неактивных пленок. На свежобразованной поверхности песка концентрируется «избыточная» энергия, формируются активные центры и происходит закрепление зародышей новообразований продуктов гидратации цемента в месте выхода дислокаций на поверхности кристаллов песка, что приводит к значительному повышению химической активности и реакционной способности песка

The article presents the results of the researches of the influence of a way of crushing on activity of ingredients of concrete mix. It is shown that sand crushing by method of free kick in a planetary mill of AGO-2 allows not only to raise its specific surface, to receive the demanded particle size distribution, but also to improve quality of a surface of particles by removal, destruction of superficial inactive films. On a new surface of sand excess energy concentrates, the active centers are formed and there is a fixing of germs of new growths of products of hydration of cement in a place of an exit of dislocations to surfaces of crystals of sand that leads to substantial increase of chemical activity and reactionary ability of sand

Ключевые слова: МЕХАНОАКТИВАЦИЯ, БЕТОННАЯ СМЕСЬ, МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН, АКТИВИРОВАННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ, ГИДРАТАЦИЯ

Keywords: MECHANICAL ACTIVATION, CONCRETE MIX, FINE-GRAINED CONCRETE, THE ACTIVATED MINERAL FILLERS, HYDRATION

Эффект механоактивации компонентов бетонной смеси заключается в переходе пассивной поверхности как вяжущих, так и инертных материалов к химически активному состоянию. Увеличение активности материалов достигается в результате измельчения, диспергации в агрегатах измельчения (мельницах).

Для реализации задачи энергосбережения и ресурсосбережения в строительстве необходимо направить усилия исследователей и всего строительного комплекса на развитие и совершенствование производства эффективных материалов и конструкций [1].

На сегодняшний день не существует единого мнения о том, в аппаратах какого типа наиболее целесообразно осуществлять механоактивационные процессы. Ряд исследователей утверждает, что наиболее полно активация осуществляется в вибромельницах, другие - в планетарных мельницах, третьи наиболее перспективной считают дезинтеграторную технологию, четвертые - использование струйно-роторных установок. В тоже время, несмотря на большое количество проведенных исследований, а также множество предложенных конструкций активаторов, их эффективность выявить довольно сложно, так как большинство исследователей не приводят удельные энергозатраты на достижение определенного эффекта. Причем, несмотря на существующее многообразие способов измельчения, в промышленности в последнее время все более отчетливо прослеживаются тенденции в преобладании ударного воздействия на материал, как одного из наиболее эффективных способов разрушения твердых материалов. Важнейшей задачей механохимии является выяснение причин, в силу которых изменяется активность твердых веществ в результате механического воздействия.

Диспергирование приводит к изменению нескольких параметров, влияющих на реакционную способность минерального порошка (рис. 1) .

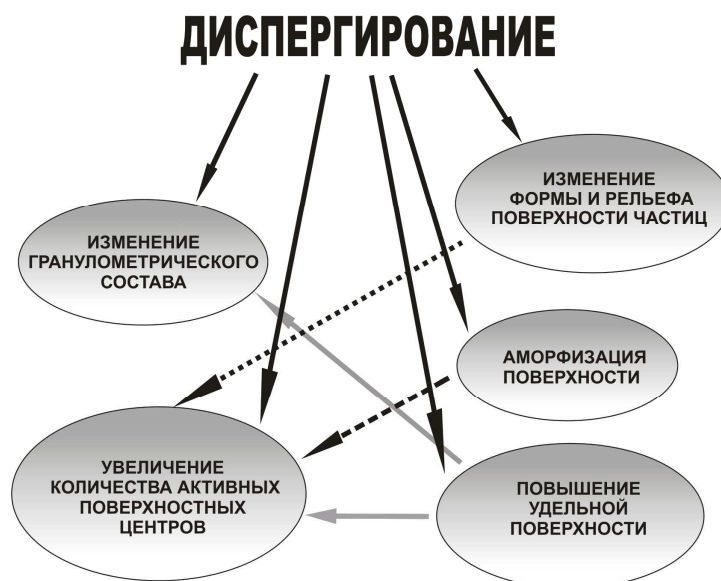


Рис. 1 Основные параметры, характеризующие реакцию способность порошков при помоле

Механизм механического диспергирования и активации в процессе ударного, воздействия происходит по нескольким схемам. Первая схема связана с образованием радиальных кольцевых трещин под действием удара. При наличии поверхностно-активных веществ, трещины покрываются мономолекулярным адсорбционным слоем, который перемещается вглубь трещины и оказывает расклинивающее давление (эффект Ребиндера – 2 схема), увеличивающееся с ростом давления ударной волны. Третья схема диспергирования осуществляется за счет обламывания краев частиц в местах контакта. Четвертая схема связана с нарушением межатомных и межмолекулярных связей под действием касательных напряжений. Практически процесс диспергирования осуществляется одновременно по всем представленным схемам [2].

Следует отметить, что при ударно-волновом диспергировании изменяется не только поверхность, но и структура и субструктура частиц. Все это приводит к существенному увеличению активности диспергируемого материала, получаемого на разнотипных помольных установках, что дает дополнительный ресурс для повышения физико-

механических характеристик строительных материалов, изготавливаемых из механоактивированного сырья.

### **Материалы и методика эксперимента**

Механоактивацию проводили на 3 типах лабораторных мельниц, реализующих метод свободного удара: лабораторная шаровая, планетарные - АГО-2 и Пульверизетте-6 и центробежная - ЦЭМ-7.

Механоактивации подвергали как исходные цемент и песок, так и цемент после года хранения в разгерметичной упаковке.

Одним из основных параметров, влияющих на эффективность помола и отличающих мельницы друг от друга, является способ воздействия мелющих тел на материал: раздавливание, излом, раскалывание, истирание и удар.

Механоактивация в шаровой мельнице осуществляется медленным ударом с истиранием, в планетарной и вибромельнице интенсивным ударом с истиранием. Частота вибрации корпуса мельницы соответствует частоте вращения электродвигателя – 1500 об/мин, в то время как у шаровой мельницы частота вращения 45 об/мин.

При этом силы, действующие на измельчаемый материал в планетарных мельницах, в десятки раз превышают силу воздействия на твердое тело в лабораторной шаровой мельнице. Планетарные мельницы АГО-2 и Пульверизетте-6 отличаются числом оборотов в минуту - 1200 и 400 соответственно.

Таким образом, выбранные для исследования мельницы отличаются не только основными принципам измельчения, но и долей сочетания различных воздействий мелющих тел на диспергируемый материал.

### **Результаты эксперимента и их обсуждение**

В табл. 1 представлены физико-механические характеристики цемента после механоактивации в разнотипных активаторах. Итак,

механоактивация цемента независимо от типа активатора, позволила повысить марку лежалого цемента, увеличить удельную поверхность, сократить начало и конец схватывания. При этом, с одной стороны, увеличивается реакционная способность поверхности частиц цемента, взаимодействующих с водой, а с другой, повышается экранирующая способность гидратных новообразований, которые, окружая частицы цемента, препятствуют доступу воды. Аналогичные выводы сделаны и в работе [3], где говорится, что при увеличении тонкости помола цемента с 2000 до 6000 см<sup>2</sup>/г для каждого уровня дисперсности степень гидратации по прочности в 1 - 3-суточном возрасте растет, а в 28-суточном увеличивается лишь до определенных пределов, а затем - даже снижается.

Таблица 1

Физико-механические характеристики цемента после механоактивации в разнотипных активаторах

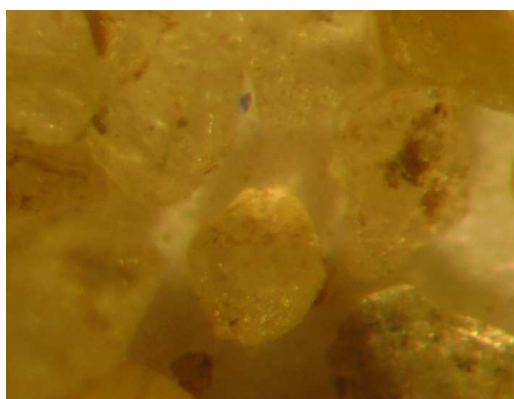
Характеристика цемента Тип мельницы	Нормальная густота теста, %	Сроки схватывания, мин		Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	В/Ц	Активность вяжущего, МПа	
		начало	конец			изгиб	сжатие
ПЦ400 -свежий	26,0	3-50	5-20	3200	0,40	5,8	46,5
ПЦ400 - 1 год хранения	27,2	3-50	6-30	2900		3,9	35,8
ПЦ400 - 1 года хранения после механоактивации в мельницах							
Шаровая	25,2	2-55	5-00	3500	0,42	6,1	42,1
ЦЭМ-7	22,4	2-10	6-00	4600	0,43	7,3	43,4
Пульверизетте	24,5	2-20	3-40	4900	0,45	7,1	48,2
АГО-2	22,8	1-45	2-50	5700	0,45	7,4	51,5

Что касается мелкого заполнителя – песка, то измельчение песка методом свободного удара позволяет не только повысить его удельную поверхность, получить требуемый гранулометрический состав, но и улучшить качество поверхности частиц путем удаления, разрушения поверхностных неактивных пленок. Создание вновь образованной,

улучшенной (без загрязнений) поверхности зерен песка повышает его реакционную способность в различных процессах.

На рис. 2 представлены микрофотографии зерен исходного и активированного в течение 2 мин в планетарной мельнице АГО-2 речного песка. На фотографиях 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 его размеры уменьшились до 5 мкм.

а)



б)

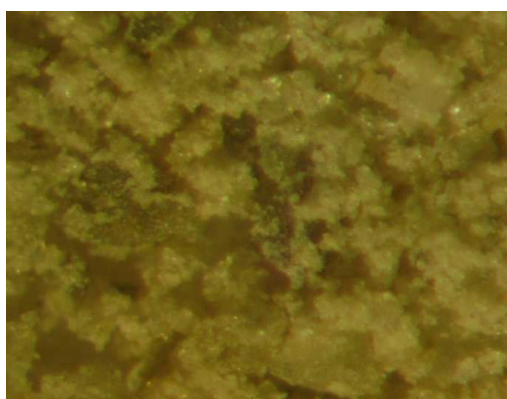


Рис. 2 Зерна речного песка до (а) и после механоактивации (б)  
(32 кратное увеличение на микроскопе МБС-10)

Степень измельчения в различных мельницах также неодинакова. Максимальное значение удельной поверхности по БЭТ для песка в планетарной мельнице АГО составляет  $2299 \text{ см}^2/\text{г}$ , в планетарной мельнице Пульверизетте –  $1979 \text{ см}^2/\text{г}$ , в вибромельнице –  $1060 \text{ см}^2/\text{г}$ , а в шаровой лабораторной мельнице –  $954 \text{ см}^2/\text{г}$ . Поэтому, с точки зрения величины

удельной поверхности наиболее эффективными мельницами являются планетарные АГО - 2 и Пульверизетте-6. При этом время активации составляло в АГО-2 – 2 минуты, в Пульверизетте - 4 минуты и в шаровой - 15 минут.

Факт более качественной активации в планетарной мельнице, по сравнению с шаровой, можно также объяснить различиями в механизме помола и побуждения мелящих тел. В используемой шаровой мельнице наблюдается каскадный режим работы дробящей среды, при котором помол материала осуществляется в основном за счет его истирания и раздавливания между мелющими телами и футеровкой мельницы. Недостатком данного метода является то, что интенсивный помол происходит лишь в слое скатывающихся мелящих тел, в то время как помол в слое мелящих тел, поднимающихся вместе с барабаном и находящихся в центре барабана, происходит незначительно.

В планетарных мельницах вращение дебалансного вала, и, как следствие корпуса мельницы, побуждает мелющие тела двигаться под действием сил инерции. Мелющие тела внутри корпуса мельницы двигаются по сложной траектории, притираются к стенкам барабана, соударяются друг с другом и с частицами измельчаемого материала, при этом истирая и раздавливая их [4].

Исследования гранулометрического состава механоактивированных порошков цемента и песка проводили ситовым методом рассеивания на вибрационной установке (рисунок 3), а также методом лазерной гранулометрии на установке «MicroSizer-201» (рисунки 4, 5).

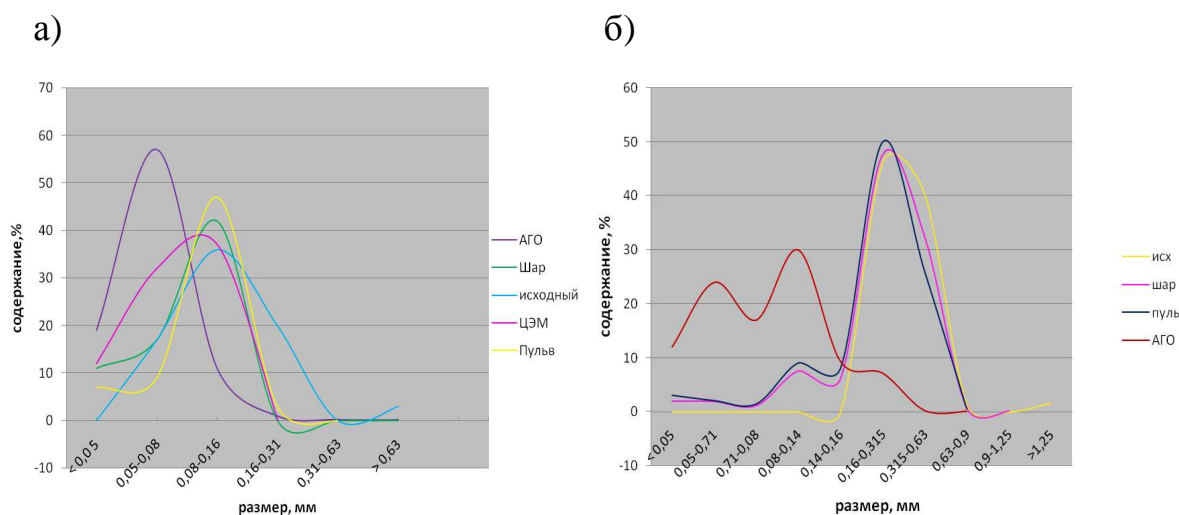


Рис. 3 Гранулометрический состав механоактивированных цементов (а) и песка (б)

Результаты анализа отражают зерновой состав механоактивированных ингредиентов бетонной смеси, механоактивированных в разнотипных аппаратах. К сожалению, ситовый анализ не дает информации о размере зерен более мелких, чем размер отверстий на сите, соответствующий 0,05 мм (50 мкм).

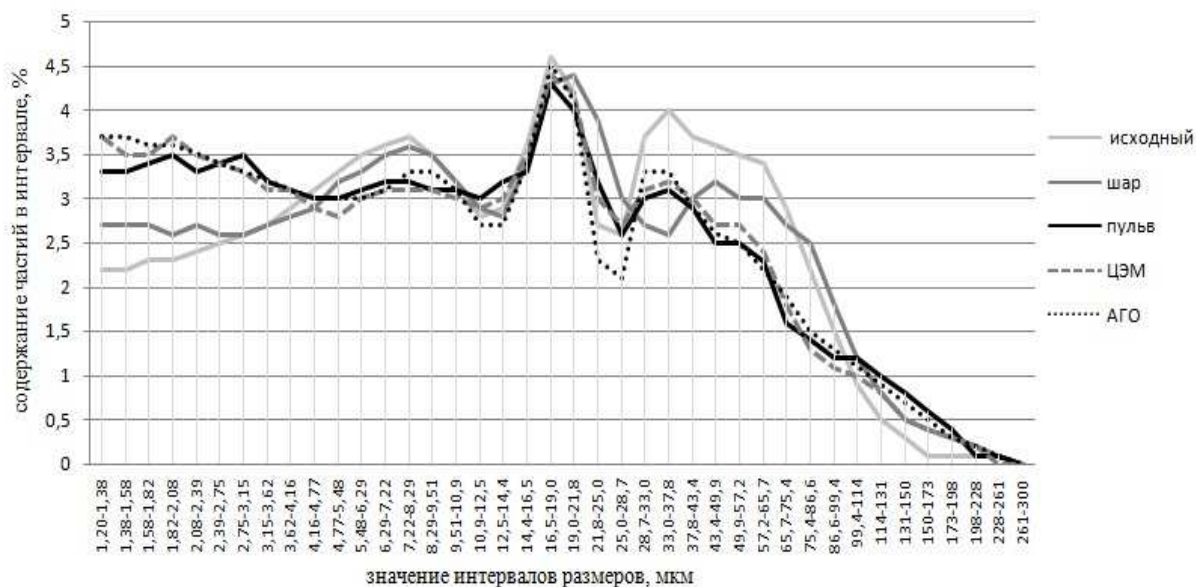


Рис. 4 График распределения по размерам частиц цемента, механоактивированного на разнотипных аппаратах



График распределения частиц цемента имеет полифракционный состав, со смещением в сторону меньших значений. Все кривые имеют несколько разных пиков содержания частиц и, независимо от способа механоактивации, один ярко выраженный общий - в интервале 15-30 мкм.

Установлено, что при механоактивации цемента в различных мельницах наблюдается равномерное распределение частиц в диапазоне 50 - 5 мкм, и большой выход (до 35 %) очень мелкой фракции до 5 мкм (рис. 4). Тем не менее, большее содержание частиц размером меньше 5 мкм получается при активации в планетарной мельнице АГО - 2.

Анализ представленных данных гранулометрического состава механоактивированного на разнотипных аппаратах песка свидетельствует о полидисперсности заполнителя. Распределение частиц по размерам характеризуется основным пиком в области от 100 до 40 мкм со смещением в сторону мелких пылевидных частиц.

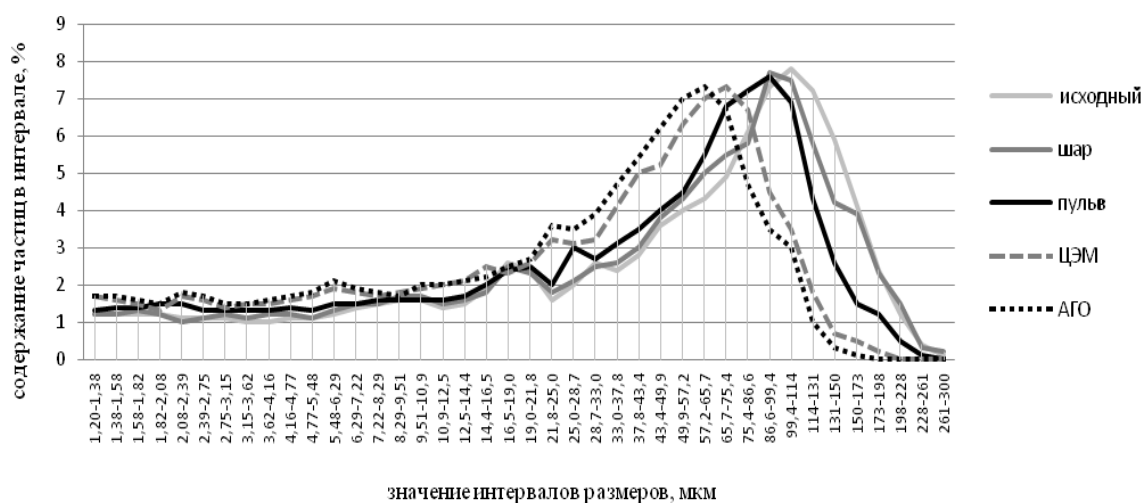


Рис.5 График распределения по размерам частиц песка, механоактивированного на разнотипных аппаратах

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.

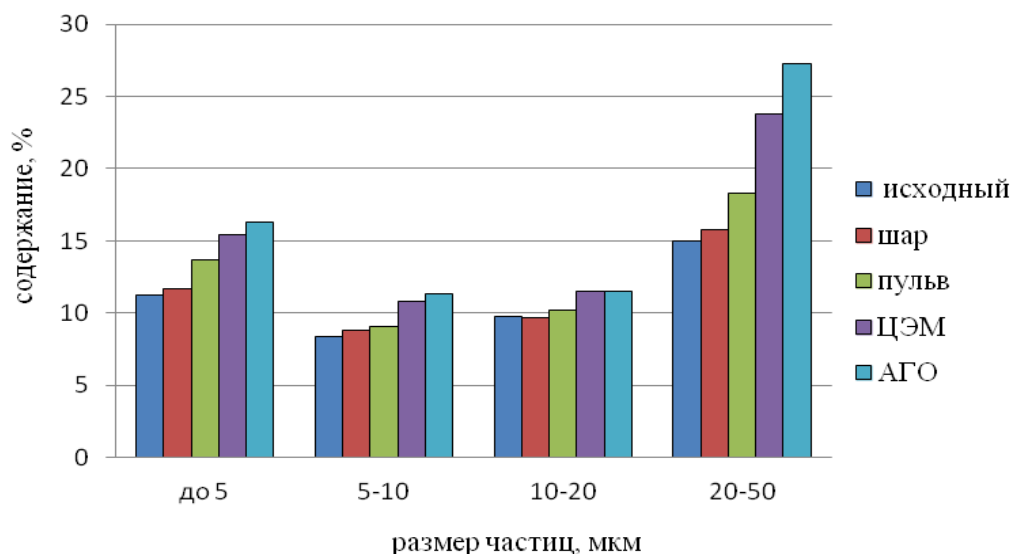


Рис. 6 Процентное содержание частиц механоактивированного песка в интервале от 50 до 5 мкм

Наиболее лучшее диспергирование песка наблюдается при активации в планетарной мельнице АГО-2, также как и в случае с активацией цемента значительно уменьшается размер частиц и увеличивается содержание частиц более мелкой фракции (менее 5 мкм). Исследования гранулометрического состава коррелируют с результатами по 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 – 2299 см<sup>2</sup>/г против 886 см<sup>2</sup>/г.

Таким образом, показана высокая эффективность применения механоактивационных аппаратов, реализующих измельчение материалов методом свободного удара, при подготовке ингредиентов бетонных смесей для улучшения физико-механических свойств мелкозернистых бетонов.

## Выводы

1. Установлено, что все использованные в работе механоактивационные аппараты позволяют повысить марку цементов, в том числе после года хранения, увеличить его удельную поверхность, сократить начало и конец схватывания. Наилучшие результаты получены при механоактивации цементов методом свободного удара на планетарной мельнице АГО-2.

2. Показано, что измельчение песка методом свободного удара в планетарной мельнице АГО-2 позволяет не только повысить его удельную поверхность, получить требуемый гранулометрический состав, но и улучшить качество поверхности частиц путем удаления, разрушения поверхностных неактивных пленок. На свежееобразованной поверхности песка концентрируется «избыточная» энергия, формируются активные центры и происходит закрепление зародышей новообразований продуктов гидратации цемента в месте выхода дислокаций на поверхности кристаллов песка, что приводит к значительному повышению химической активности и реакционной способности песка.

## Литература

1. Торлина Е.А., Шуйский А.И., Ткаченко Г.А., Языева С.Б. Активация цементного теста и пенобетонной смеси в электромагнитных помольных агрегатах // Электронный журнал «Инженерный Вестник Дона», 2011. №2. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/432>

2. Аввакумов Е.Г., Гусев А.А. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья.- Новосибирск: Наука, 2009.-165 с.

3. Калашников В.И. Порошковые высокопрочные дисперсно-армированные бетоны нового поколения. // Популярное бетоноведение, 2008, № 6. – С. 5-7.

4. Сулименко Л.М., Майснер Ш.Н. Влияние механоактивации на технологические свойства портландцементных сырьевых смесей // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1986 (29), № 1. С. 80-84.

## References

1. Torlina E.A., Shujskij A.I., Tkachenko G.A., Jazyeva S.B. Aktivacija cementnogo testa i penobetonnoj smesi v jelektromagnitnyh pomol'nyh agregatah // Jelektronnyj zhurnal «Inzhenernyj Vestnik Dona», 2011. №2. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/432>

2. Avvakumov E.G., Gusev A.A. *Mehanicheskie metody aktivacii v pererabotke prirodnogo i tehnogennogo syr'ja.*- Novosibirsk: Nauka, 2009.-165 s.

3. Kalashnikov V.I. *Poroshkovye vysokoprochnye dispersno-armirovannye betony novogo pokolenija.* // *Populjarnoe betonovedenie*, 2008, № 6. – S. 5-7.

4. Sulimenko L.M., Majsner Sh.N. *Vlijanie mehanoaktivacii na tehnologicheskie svojstva portlandcementnyh syr'evyh smesej* // *Izv. vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija.* 1986 (29), № 1. S. 80-84.