

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-102-112

<sup>1</sup>Евтушенко Е.И., <sup>1</sup>Череватова А.В., <sup>1</sup>Кожухова Н.И., <sup>1</sup>Осадчая М.С.,  
<sup>1</sup>Старостина И.В., <sup>2</sup>Кожухова М.И.

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия

<sup>2</sup>Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин, США

## ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ОТСЕВА ГРАНИТА В МЕЛЬНИЦАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА ПРИ СИНТЕЗЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО

**Аннотация.** В рамках статьи рассматривается возможность получения наноструктурированных вяжущих (НВ) на основе магматических интрузивных пород кислого состава на примере отсева гранита с применением помольных агрегатов различного типа с последующей оценкой степени эффективности их применения для данного вида алюмосиликатного сырья. Проводится сопоставительный анализ степени механоактивационного воздействия.

Проведен сравнительный анализ микроструктуры проб отсева гранита, измельченных в трех помольных агрегатах различного типа. Установлено, что тип мельницы оказывает существенное влияние не только на степень дисперсности и характер гранулометрического распределения частиц гранита, но и на их морфологические особенности. Выявлено, что наиболее эффективным помольным агрегатом при получении (синтезе) вяжущей системы из гранитного отсева является шаровая мельница, так как содержание частиц нано- и микроуровня в данной системе максимально, что в конечном итоге и определяет ее качество, как вяжущего материала.

Осуществлен анализ структурно-морфологических и прочностных характеристик НВ, полученного из отсева гранита в шаровой мельнице, которые находятся в соответствии с аналогичными данными на кварцевом НВ и позволяю говорить об эффективности применения шаровой мельницы как помольного агрегата для отсева гранита как сырьевого компонента при синтезе НВ.

**Ключевые слова:** гранит, механоактивация, мелющие агрегаты, гранулометрия, морфология частиц.

**Введение.** В современных реалиях индустрии строительства и производства строительных материалов все большую актуальность приобретают вопросы энергосбережения, разработки ресурсосберегающих технологий, а также снижения энергоемкости производственного процесса. Это утверждение носит под собой подтверждающую основу в виде принятых за последние годы правовых и нормативных документах, отраженных в общероссийских стратегиях и программах развития [1], которые требуют основательного решения выше упомянутых задач в строительной отрасли. Однако, одним из важных ограничивающих аспектов является тот факт, что самым популярным вяжущим материалом строительного назначения мирового масштаба на сегодняшний день является портландцемент. С учетом технологических особенностей производство цемента в корне противоречит задачам реализуемых государственных программ как с точки зрения энергоемкости процесса, а также с позиции неэкологичности.

В этой связи, весьма актуальным является поиск и реализация способов получения альтернативных вяжущих с использованием так называемых «зеленых» технологий, в то же время обеспечивающих более низкие показатели энергоемкости производственного процесса.

Отмеченным требованиям в полной мере соответствует относительно новый вид бесклнкерных вяжущих – наноструктурированное вяжущее (НВ), для которых в ряду преимуществ также следует отметить их довольно высокую эффективность по эксплуатационным показателям [2–4].

С точки зрения структурообразующих процессов, для НВ характерен поликондесационно-полимеризационный тип твердения, радикальным образом отличающийся от гидратационного – в случае портландцемента.

В основу синтеза НВ положен холодный механохимический синтез, организованный по методу мокрого помола или механохимической активации силикатного или алюмосиликатного сырья до ультратонкодисперсного состояния (что является гарантией его экологической безопасности), при котором аморфный в естественных условиях силикат/алюмосиликат приобретает вяжущие свойства.

В области химических технологий и производства строительных материалов механохимическая активация является давно известным общепринятым эффективным способом улучшения качественных характеристик сырьевых компо-

нентов, используемых для синтеза вяжущих систем и материалов в широком спектре областей практического использования.

Популярность метода механохимической активации (механоактивации), как правило, связана с его доступностью и простотой реализации, а также высоким выходом (производительностью) получаемого продукта, чего нельзя сказать о применяемых физико-химических методах синтеза, модификации и обогащения сырья, таких как, например, золь-гель метод, возгонка, экстракция и т.д. [5–8].

Применение механоактивационного метода позволяет решать такие ключевые задачи материаловедения как:

- повышение реакционной активности сырья и, как следствие, улучшение требуемых эксплуатационных характеристик конечного материала;

- придание принципиально новых свойств сырью и получаемым материалам, что достигается в результате обеспечения размеров частиц значительно меньшего размерного масштаба, а также за счет формирования их более развитой поверхности, характеризующейся повышенной реакционной активностью;

- для поликомпонентных систем: возможность реализации механохимического синтеза (явление химического взаимодействия компонентов, составляющих систему) в процессе механоактивационного процесса. Как результат, проявление синергетического эффекта, в результате которого измельчаемая поликомпонентная система обнаруживает принципиально новые свойства и поведение, нехарактерные для составляющих его компонентов в отдельности.

В связи с высокой практической популярностью метода механической активации, в настоящее время используется довольно широкое разнообразие помольных и истирающих машин и дезинтеграторов, отличающихся принципами измельчения в зависимости от природы и особенностей диспергируемого материала, а также с учетом поставленной к реализации задачи.

Кроме того, мелющие агрегаты также разнообразны с точки зрения материала, из которого они изготовлены, материала футеровки, а также материала мелющего органа (цибельсы, цилиндры, бисер и т.д.) [9–11]. При этом ранее было исследовано и экспериментально доказано неоспоримое влияние вида используемого агрегата не только на гранулометрические характеристики измельчаемого объекта, но также на его химические и минеральные трансформации [12, 13].

Гранит как природное сырье достаточно широко используется в различных областях народного хозяйства, в частности, и в строительной отрасли. Однако с экономической точки зрения, а также с позиций энергосбережения, наиболее целесообразно рассматривать варианты использования некондиционного сырья или отходов промышленности. В данном случае могут быть рассмотрены отсе́вы дробления гранита при производстве гранитного щебня, которые, по оценке современных тенденций утилизации вторичного сырья создают довольно серьезные проблемы российским предприятиям-производителям из-за их крупнотоннажных объемов (выход отсе́ва может составлять до 40 % от объема производимого товарного щебня). Ограниченность его применения обоснована тем, что зерна отсе́ва в силу особенностей его образования, имеют анизотропную форму, также значительную долю тонкодисперсной фракции, содержание которой колеблется от 18 до 25 % [14].

Однако, несмотря на то, что отсе́вы гранита являются побочным продуктом, их стоимость нельзя назвать низкой. Именно поэтому, наиболее популярным с точки зрения утилизации, например, в дорожном строительстве [15, 16], является немый, нефракционированный гранитный отсе́в со средним размером зерен 0–5 мм, что и определяет его дешевизну и, в тоже время, его низкое качество.

Логично предположить, что повышение качества отсе́ва гранита, например, в результате его фракционирования, является весьма ресурсо- и энергозатратной задачей.

До недавнего времени, попытки использования отсе́вов гранита, как правило, ограничивались их введением в качестве инертных наполнителей лишь с целью замены более дорогостоящего реакционно активного компонента и, таким образом, для удешевления конечного продукта. При этом, его роль в процессах структурообразования, зачастую, минимальна или вовсе отсутствует [17, 18].

Ранее была установлена потенциальная возможность получения вяжущего НВ с использованием гранитного сырья [19]. Однако, достоверной информации об особенностях использования отходов в виде отсе́ва гранита не нашли должного отражения в научной литературе.

В рамках данного исследования рассматриваются особенности влияния различных типов помольных агрегатов на трансформации в компонентном составе интрузивных магматических пород на примере гранита, а также на изменения в гранулометрических характеристиках, на основании чего проведен сравнительный анализ эф-

фактивности механоактивационного воздействия различных механизмов механоактивации на исследуемый алюмосиликатный материал.

Так же ставилась цель выявления степени рациональности по показателю энергоёмкости вида исследуемого гранита с точки зрения механоактивационной диспергации при получении на его основе гранитного НВ.

**Материалы и методы.** В качестве исходного сырья в экспериментальной части исследований использовался гранитный отсев (рис. 1) Полтавского месторождения (Гереевский карьер, Украина) с фракцией 0–5 мм.

**Методы.** Для проведения сравнительного анализа эффективности механоактивационного воздействия с использованием различных типов помольных агрегатов в работе применялись следующие: планетарная мельница МП4/0,5; вибрационный истиратель ИВ-1; шаровая мельница с корундовой футеровкой РМШ-200.

Поиол осуществлялся методом одностадийного механохимического синтеза в водной среде.

Химический состав образцов гранитного отсева был определен методом рентгенофлуорисцентного анализа (XRF) на приборе ARL 9900 X-ray WorkStation (Termo Scientific), (рис. 2). Рентгеновские дифракционные спектры получены на дифрактометре ARL X'tra с использованием  $\text{CuK } 1,2$  излучения.

ray WorkStation (Termo Scientific), (рис. 2). Рентгеновские дифракционные спектры получены на дифрактометре ARL X'tra с использованием  $\text{CuK } 1,2$  излучения.



Рис. 1. Гранитный отсев Полтавского месторождения (Гереевский карьер, Украина)

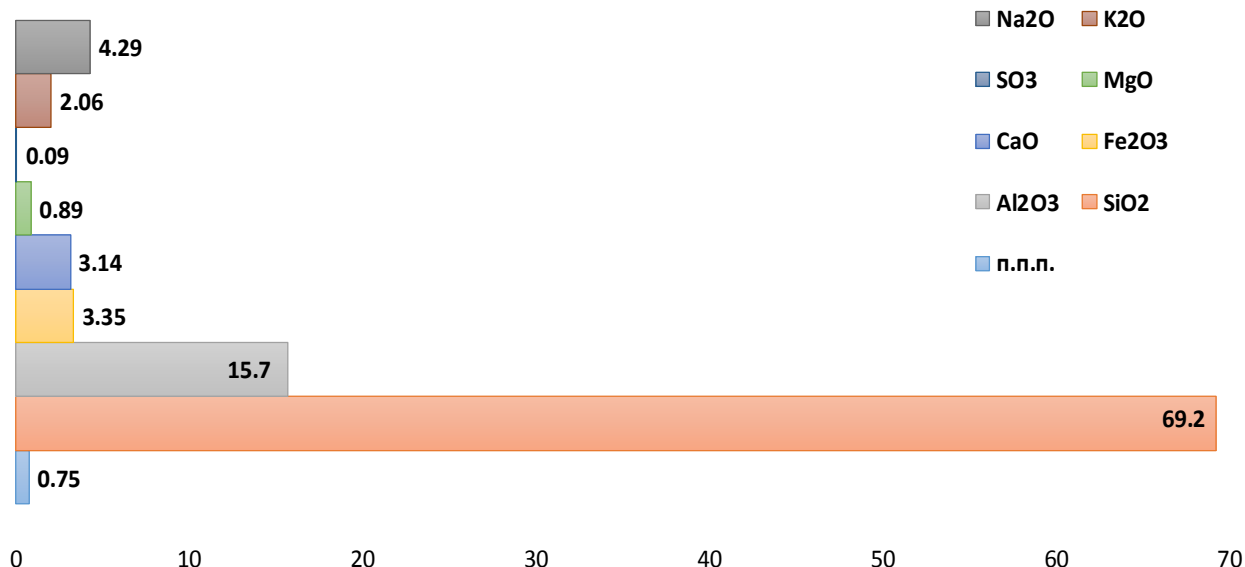


Рис. 2. Химический состав гранита Полтавского месторождения, %

Измерение удельной поверхности проводилось с помощью прибора SoftSorbi-II ver.1.0. В качестве газа-адсорбата использовался азот.

Изучение особенностей изменения гранулометрического состава алюмосиликатного сырья в процессе механоактивации проводилось с помощью лазерного анализатора размеров частиц Fritsch Analysette 22 Nano Tec plus.

Микроструктурные исследования экспериментальных образцов материала проводились на

сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU с возможностью микрорентгеноспектрального анализа.

#### Основная часть.

*Визуальная оценка намолота от мелющих тел*  
Визуальная оценка измельченного гранитного отсева с помощью применяемых в исследовании помольных агрегатов позволяет невооруженным глазом отметить значительную разницу в

окраске полученных порошков, которая изменяется от светло-бежевого (в шаровой мельнице) до серого (в планетарной мельнице), затем, до

грязно-серого (в вибрационном истирателе) (рис. 3).

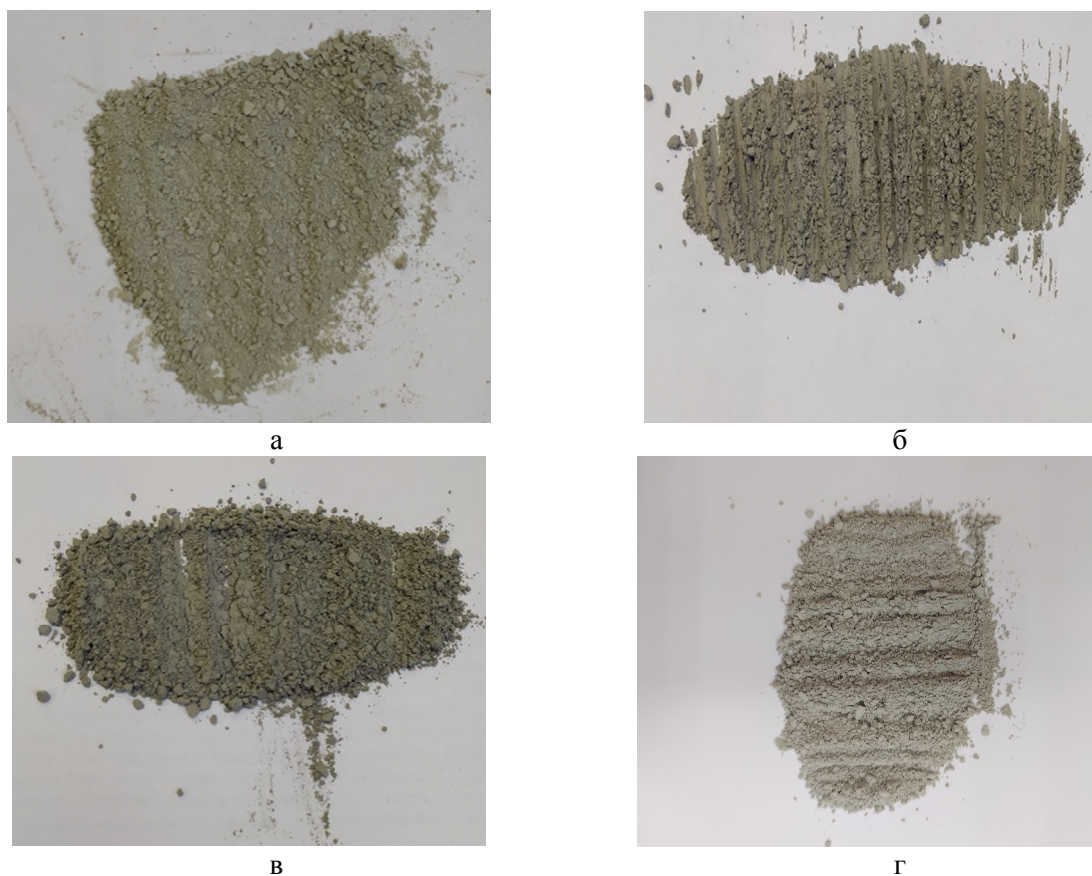


Рис. 3. Порошки отсева гранита, полученные в результате механоактивации в мелющих агрегатах разного типа:

а – шаровая мельница; б – планетарная мельница; в – вибрационный истиратель;  
г – контроль (корундовая ступка)

Наблюдаемый эффект может свидетельствовать о попадании части вещества от футеровки и мелющих тел и о формировании, таким образом, намола в составе измельчаемого материала. С целью возможности определения типа мельницы, в которой происходит максимальный намол в процессе механоактивации, был проведен контрольный тест, в рамках которого используемый отсев гранита был измельчен в водной среде (моделирование способа мокрого помола, реализуемого в мельницах) с помощью лабораторной корундовой ступки и пестика, которые, в силу своей природной твердости (№9 по шкале Мооса) исключает образование намола в гранитной системе. Средняя твердость исследуемого гранитного сырья (в силу своей полиминеральности) колеблется в пределах значения 7–8.

Представленный на рис. 3, г порошок отсева гранита, измельченного в корундовой ступке, позволяет с уверенностью предположить, что намол от мельницы и мелющих тел имеет место при механоактивационном воздействии в мень-

шей степени – в планетарной мельнице; в большей степени – в вибрационном дезинтеграторе, в обоих случаях имеющих металлическую футеровку и мелющие органы. В случае с шаровой-мельницей, визуально можно предположить об отсутствии намола.

В работах, посвященных влиянию металлического намола на свойства материалов, [21], было выявлено, что использование помольного оборудования с металлической футеровкой для диспергирования порошков приводит к образованию сверхтонкодисперсного Fe-содержащего компонента. В свою очередь было установлено, что при взаимодействии этого Fe-намола с водной средой (что является весьма актуальным для метода мокрого помола при синтезе НВ), тонкодисперсное железо трансформируется в гидроксид железа  $Fe(OH)_2$ , для которого характерно увеличение объема элементарной ячейки в 3-4,5 раза, по сравнению с исходным железистым намолом. Таким образом, происходящие фазовые превращения неизбежно влекут за собой возникновение внутренних давлений/напряжений,

иницирующих структурные деградации и вызывают разрушающий эффект формирующегося каркаса матрицы.

#### Фазово-минеральный анализ.

Минеральный состав гранита, согласно результатам количественного РФА, представлен следующей композицией (масс. %): кварц – 35,9; альбит – 51,9; анортит – 3,9; роговая обманка – 3,3 и биотит – 3,9.

Как видно, гранитный отсев имеет полиминеральный компонентный состав, минералы которого очень сильно отличаются как микроструктурными, так и структурно-механическими характеристиками. Следует предположить, что при помолу степень их механоактивации будет различной.

#### Гранулометрический анализ.

Основным ключевым критерием качественной оценки получаемого вяжущего является повышение содержания в исследуемой системе аморфизированной алюмосиликатной составляющей.

В процессе помола осуществлялся поэтапный мониторинг характера изменения структурных характеристик и химико-минералогического состава исследуемой системы.

Помол проводился до удельной поверхности материала  $\approx 7000 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Помол в планетарной мельнице дает возможность одновременно соединить несколько процессов: активацию (измельчаемый материал приобретает большую реакционную способность) и механохимическое легирование (в результате взаимодействия компонентов при помолу получается материал нового состава). Специфика схемы измельчения в планетарной мельнице позволяет создавать перегрузки в десятки раз, многократно увеличивая эффективность помола.

Результаты гранулометрического анализа гранитного отсева, после помола в мельницах различного типа приведены на рис. 4.

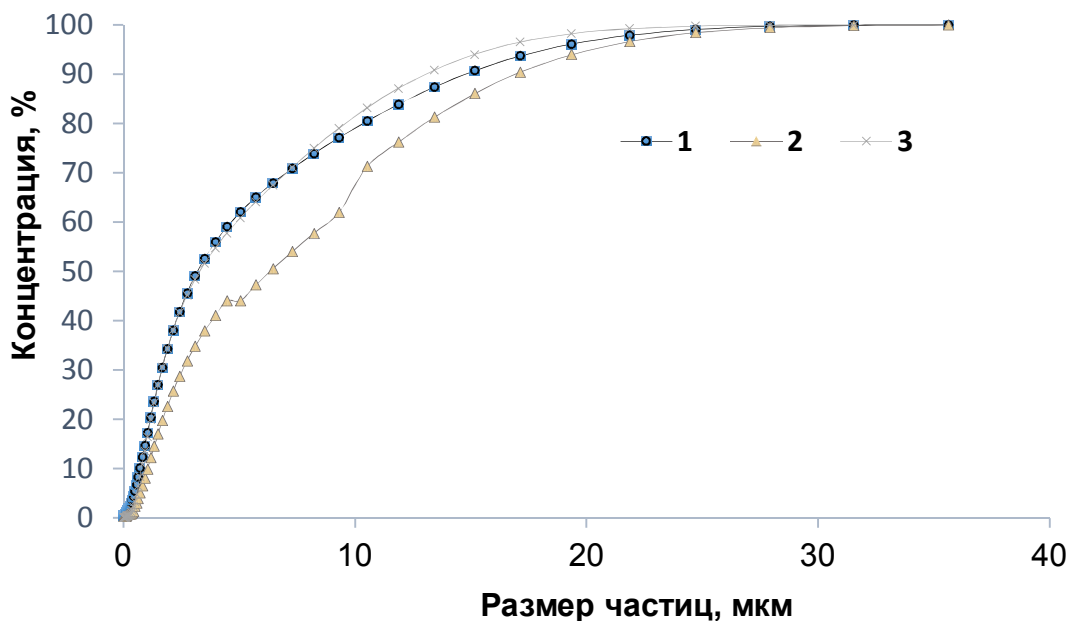


Рис. 4. Кривые гранулометрического распределения отсева гранита после измельчения в помольных агрегатах: 1 – шаровая мельница; 2 – планетарная мельница; 3 – вибрационный истиратель

Помол в вибрационном истирателе ИВ-1 даст возможность равномерного измельчения полиминерального сырья различной прочности и твердости до тонкодисперсного состояния. В данном помольном агрегате процесс измельчения интенсифицируется за счет одновременного сочетания вибрационного и истирающего воздействия на измельчаемый материал.

Помол в лабораторной шаровой мельнице РМШ-200 сочетает в себе два типа преобладающих нагрузок – это ударная и истирающая.

В процессе мокрого помола, благодаря постепенному понижению объемного содержания

жидкости и увеличению сил трения, возрастает температура процесса. С ростом температуры (с  $20^\circ\text{C}$  до  $110^\circ\text{C}$ ) значительно повышается энергия процесса, уменьшается общая вязкость системы, повышается ее текучесть, что позволяет вести помол при повышенных концентрациях.

В результате получена активная минеральная вяжущая система с удельной поверхностью  $7300 \text{ см}^2/\text{г}$ , и содержанием частиц менее  $5 \text{ мкм}$  – 48 %.

Проводя общий сопоставительный анализ полученных диаграмм гранулометрического со-

става гранитного отсева, после помола в мельницах различного типа, пришли к выводу о том, что степень механоактивационного воздействия выше в шаровой и планетарной мельнице (содержание частиц диаметром 0,1–0,01 мкм: 12 и 4 % соответственно). Однако, содержание частиц диаметром от 1 до 10 мкм в вибро и шаровой мельнице на 30 и 50 % больше, чем в планетарной. Модальный диаметр для вяжущей системы, полученной в шаровой мельнице, составил 2,03 мкм, а для систем, полученных на планетарной и вибрационной мельнице: 12,12 и 9,98 мкм соответственно.

#### Микроструктурный анализ отсева гранита

Следует обратить особое внимание на изменение морфоструктурных особенностей материала в процессе измельчения. Так, для системы, измельчаемой в вибромельнице, характерно присутствие частиц остроугольной формы с существенными дефектами поверхности (рис. 5, а). Подобная картина наблюдается и у системы, измельчаемой в планетарной мельнице, но количество тонкодисперсной фракции существенно выше, хотя и не наблюдается реакционной активности частиц на поверхности (рис. 5, б). В то же время система, измельчаемая в шаровой мельнице, показывает активное взаимодействие и формирование наноструктур уже на стадии помола (рис. 5, в).

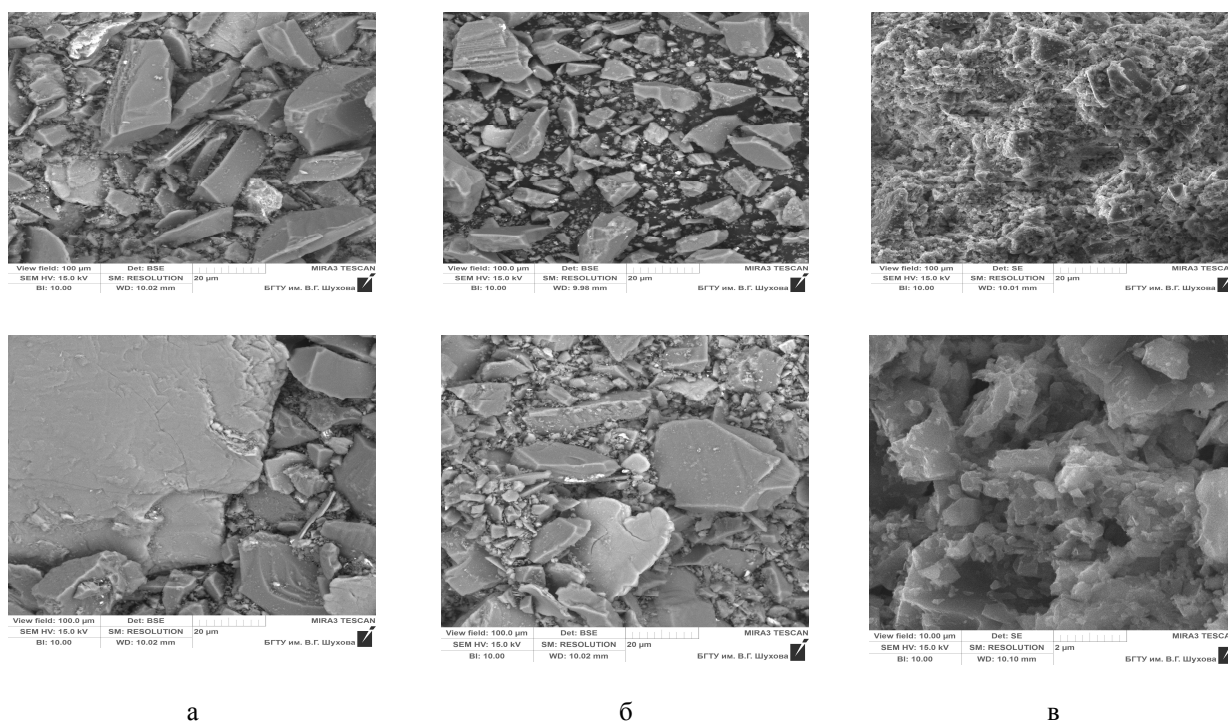


Рис. 5. Микроструктура отсева гранита, измельченного в разных мелющих агрегатах: а) вибрационный истиратель; б) планетарная мельница; в) шаровая мельница

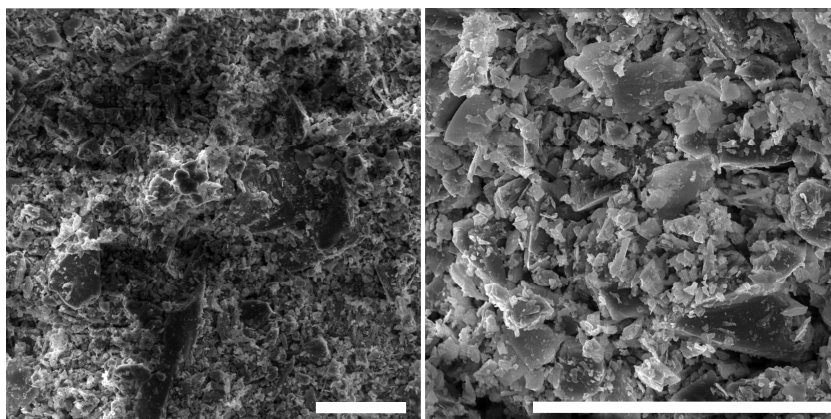
#### Особенности гранитного НВ

С целью оценки возможности получения вяжущего НВ на основе гранита в наиболее эффективном с точки зрения механической активации мелющем агрегате (шаровой мельнице), были заформованы экспериментальные образцы. Результаты прочностных испытаний показали, что гранитное НВ обеспечивает довольно высокие показатели прочности при сжатии (до 6 МПа), которые сопоставимы со значениями по прочности

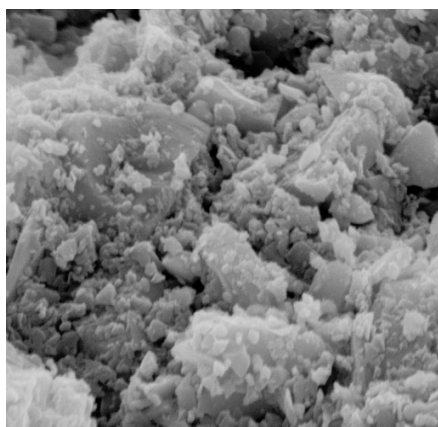
для ранее разработанных вяжущих НВ на основе кварцевого сырья (6,5–7 МПа) [22].

Анализ полученных прочностных характеристик гранитного НВ был произведен на основании дополнительного анализа его микроструктуры (рис. 6).

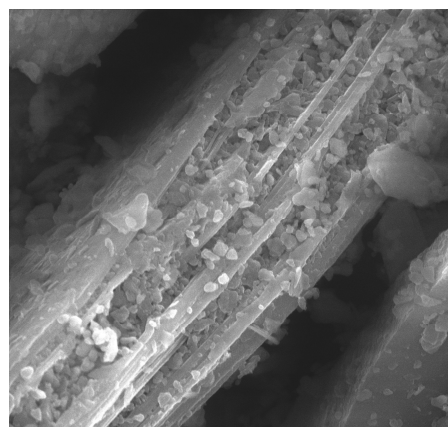
Морфологические особенности микроструктуры гранитного НВ (рис. 6) в сравнении их с микроструктурой и прочностными показателями кварцевого НВ в полной мере обосновывают полученные результаты по прочности на сжатие.



а – Гранитное НВ



б – Кварцевое НВ



в – Разрушающийся в процессе помола биотит

Рис. 6. Микроструктура образца затвердевшего гранитного вяжущего

**Выводы.** Таким образом, в результате анализа проведенных исследований, следует сделать вывод о том, что наиболее эффективным помольным агрегатом при получении (синтезе) вяжущей системы из гранитного отсева является шаровая мельница, так как содержание частиц нано и микроуровня в данной системе максимально, что в конечном итоге и определяет ее качество, как вяжущего материала.

Установлено, что тип мельницы оказывает существенное влияние не только на степень дисперсности и характер гранулометрического распределения частиц, но и на их морфологические особенности.

Выявлена высокая степень рациональности по показателю энергоемкости использования рассматриваемого вида гранита с точки зрения механоактивационной диспергации при получении на его основе наноструктурированного вяжущего, благодаря тому, что в данном гранитном отсеке содержится кварц в максимальном количестве, а также минимальная концентрация биотита.

**Источник финансирования.** Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова, с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия инновационного развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/906/2\\_final\\_naya-versiya-proekta-strategii\\_irso\\_28\\_06\\_206-s-dopolneniem.docx](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/906/2_final_naya-versiya-proekta-strategii_irso_28_06_206-s-dopolneniem.docx)
2. Doroganov V.A., Pivinskii Yu.E., Cherevatova A.V. Thinning and plasticization of HCBS (highly concentrated ceramic binding suspension) based on high-alumina chamotte // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2004. Vol. 45. No. 3. Pp.172–176. DOI: 10.1023/B:REFR.0000036724.58090.bb.
3. Doroganov V.A., Pivinskii Yu. E. Structure-mechanical properties of plasticized mixes based on highly concentrated ceramic binding suspensions (HCBS) of high-alumina chamotte // *Refractories*

and Industrial Ceramics. Vol. 46. Issue 2. Pp 120–126. DOI: 10.1007/s11148-005-0066-6.

4. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технологии и перспективы применения. Saarbrücken. 2011. 170 с.

5. Нуштаева А.В., Мельникова К.С., Провсирнина К.М. Применение золь-гель перехода в эмульсиях, стабилизированных твердыми частицами // Фундаментальные исследования. 2014. № 8–1. С. 55–58.

6. Нимчик А. Г., Усманов Х. Л., Кадилова З. Р. Изучения влияния отходов химической промышленности на возможность возгонки металлов в поргланцементных сырьевых смесях // Universum: Химия и биология. 2020. Т. 2. № 68. С. 62–67.

7. Wright JD. NAJMS. Sol-gel materials: Chemistry and applications. 1st Edition. John D. Wright NAJMS, editor. London: CRC Press. 2001. 136 p. DOI: 10.1201/9781315273808

8. Montemor MF. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances. Surface and Coatings Technology. 2014. № 258. С. 17–37. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.06.031

9. Абдулова С.Р. Физика измельчения слюды в вибрационных мельницах // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений 2016. Т.3. № 56. С. 125–133.

10. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В. Исследование влияния режимов измельчения на реакционную способность минеральных порошков // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2013. № 61–62. С. 248–254.

11. Monov V., Sokolov B., Stoenchev S. Grinding in Ball Mills: Modeling and Process Control // Cybernetics and Information Technologies 2012. Vol. 12. No. 2. Pp. 51–68. DOI: 10.2478/cait-2012-0012.

12. Mejdoub R., Hammi H., Khitouni M., Suñol J.J., M'nif A. The effect of prolonged mechanical activation duration on the reactivity of Portland cement: Effect of particle size and crystallinity changes, Construction and Building Materials. 2017. Vol.152. No. 15. Pp. 1041–1050. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.008.

13. Li J., Hitch M. Structural and chemical changes in mine waste mechanically-activated in various milling environments // Powder Technology.

2017. No. 308. Pp. 13–19. DOI: 10.1016/j.powtec.2016.12.003.

14. Артамонов В.А., Воробьев В.В., Свитов В.С. Опыт переработки отсеков дробления // Строительные материалы. 2003. № 6. С. 28–29.

15. Траутвайн А.И. Анализ влияния качественного состава асфальтобетонной смеси на основные показатели характеристик асфальтобетона в покрытии // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 2. № 1. С. 17–23. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-17-23.

16. Wang D., Chen X., X Xie, Stanjek H., Oeser M., Steinauer B. A study of the laboratory polishing behavior of granite as road surfacing aggregate Construction and Building Materials. 2015. № 89. Pp. 25–35. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.04.032.

17. Singh S., Nagar R., Agrawal V., A review on Properties of Sustainable Concrete using granite dust as replacement for river sand // Journal of Cleaner Production. 2016. No. 126. Pp.74–87. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.03.114.

18. Алфимова Н.И., Вишневецкая Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья. 2013. Saarbrücken, 129 с.

19. Kozhuhova N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchaya M.S., Strokova V.V., Tchizhov R.V. Revisiting a selection of natural and technogenic raw materials for geopolymer binders // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. Vol. 9. Pp. 16945–16955.

20. Кожухова Н.И., Строкова В.В., Кожухова М.И., Жерновский И.В. Структурообразование в щелочеактивированных алюмосиликатных вяжущих системах с использованием природного сырья различной кристалличности // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 4. С. 38–43. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-4-38-43

21. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Lebedev M.S., Sobolev K. Influence of Fe component from milling yield on characteristics of perlite based geopolymers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 560. No. 012148. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012148.

22. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of application of zero-cement binders of a nanohydration hardening type // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 25. No. 1. Pp. 119–123. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.25.01.7032.

#### Информация об авторах

**Евтушенко Евгений Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры Технология стекла и керамики. E-mail: eveviv@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.



**Череватова Алла Васильевна**, доктор технических наук, профессор кафедры Технология стекла и керамики. E-mail: cherry\_611@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Кожухова Наталья Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Старостина Ирина Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии. E-mail: starostinairinav@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Осадчая Майя Сергеевна**, ведущий инженер. E-mail: mус87@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Кожухова Марина Ивановна**, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инжиниринга и прикладных наук, инженер кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: kozhuhovamarina@yandex.ru. Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин. P.O. Box 413, Милуоки, WI 53201, США

Поступила 28.10.2020 г.

© Кочергин Ю.С., Носова А.Н., Кравчук Т.Н., Григоренко Т.И., Золотарева В.В., 2020

<sup>1</sup>*Evtushenko E.I.*, <sup>1</sup>*Cherevatova A.V.*, <sup>1,\*</sup>*Kozhukhova N.I.*, <sup>1</sup>*Osadchaya M.S.*, <sup>1</sup>*Starostina I.V.*,  
<sup>2</sup>*Kozhukhova M.I.*

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*  
*University of Wisconsin-Milwaukee, USA, WI 53211, Milwaukee, 3200 North Cramer Street*  
*\*E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru*

## STUDY OF MECHANOACTIVATION EFFECTIVENESS OF GRANITE SCREENING IN MILLS OF VARIOUS TYPES WHEN SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED BINDER

**Abstract.** *In this paper, the possibility of obtaining nanostructured binders (NB) based on acidic igneous intrusive rocks is considered by the example of screening out granite using milling units of different types, followed by an assessment of the degree of effectiveness of their application for this type of aluminosilicate raw material. A comparative analysis of the degree of mechanoactivation impact of them is carried out.*

*A comparative analysis of the microstructure of samples of granite screening, crushed in three different milling units has been realized. It has been found that the type of milling unit significantly affects not only the degree of dispersion and the nature of the particle size distribution of particles, but also on morphological features of them. It was revealed that the most effective milling unit for obtaining (synthesizing) a binder system from granite screening is a ball mill, as the content of nano- and micro-level particles in this system are maximum, which ultimately determines its quality as a binder.*

*The analysis of the structural, morphological, and strength characteristics of NB obtained from the granite screening in a ball mill, which is following similar data on a quartz NB and allow us to speak about the effectiveness of the use of a ball mill is a grinding machine and granite screening as a raw component for the synthesis of NB.*

**Keywords:** *granite, mechanical activation, grinding aggregates, granulometry, particle morphology.*

### REFERENCES

1. Strategy for innovative development of the construction industry of the Russian Federation until 2030 [Strategia innovatsionnogo razvitiya stroitelnoy otrasli Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda]: [Elektronnyi resurs] URL: [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/906/2\\_finalnaya-versiya-proekta-strategii\\_irso\\_28\\_06\\_206-s-dopolneniem.docx](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/906/2_finalnaya-versiya-proekta-strategii_irso_28_06_206-s-dopolneniem.docx)

2. Dorogano V.A., Pivinskii Yu.E., Cherevatova A.V. Thinning and plasticization of HCBS (highly concentrated ceramic binding suspension) based on high-alumina chamotte. Refractories and Industrial Ceramics. 2004. Vol 45. Pp. 172–176. DOI: 10.1023/B:REFR.0000036724.58090.bb.

3. Doroganov V.A., Pivinskii Yu. E. Structure-mechanical properties of plasticized mixes based on highly concentrated ceramic binding suspensions (HCBS) of high-alumina chamotte. Refractories and

Industrial Ceramics. 2005. Vol.46. No.17. Pp. 120–126. DOI: 10.1007/s11148-005-0066-6.

4. Cherevatova A.V., Zhernovsky IV., Strokova V.V. Mineral nanostructured binders. Nature, technologies and application perspective [Mineral'nyie nanostrukturirovannyye vyazhushie]. Saarbrücken, 2011. 170 p. (rus)

5. Nushtaeva A.V., Melnikova K.S., Prosvirina K.M. Sol-gel transition in solid particle stabilized emulsions [Primeneniye zol'-gel' perekhoda v emul'siyakh, stabilizirovannykh tverdymi chastitsami]. Fundamental'nyye issledovaniya. 2014. No. 8-1. Pp. 55–58. (rus)

6. Nimchik A.G., Usmanov H.L., Kadirova Z.R. Study of the effect of chemical industry waste on the possibility of sublimation of metals in Portland cement raw mixtures [Izucheniya vliyaniya otkhodov khimicheskoy promyshlennosti na vozmozhnost' vozgonki metalov v portlandtsementnykh syr'yevykh smesyakh]. Universum: khimiya i biologiya. 2020. Vol. 2. Issue 68. Pp. 62–67. (rus)

7. Wright JD. NAJMS. Sol-gel materials: Chemistry and applications. 1st Edition. John D. Wright NAJMS, editor. London: CRC Press. 2001. 136 p. DOI: 10.1201/9781315273808.

8. Montemor M.F. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances. Surface and Coatings Technology. 2014. Vol. 258. Pp. 17–37. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.06.031.

9. Abdulova S.R. The physics of grinding mica in vibratory mills [Fizika izmel'cheniya slyudy v vibratsionnykh mel'nitsakh]. Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits. 2016. Vol. 3. Issue 56. Pp. 125–133. (rus)

10. Trautvain A.I., Yadykina V.V. Study of grinding modes effect on reactivity feature of mineral powder [Issledovaniye vliyaniya rezhimov izmel'cheniya na reaktsionnyuyu sposobnost' mineral'nykh po-roshkov]. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. 2013.No. 61–62. Pp. 248–254. (rus)

11. Monov V., Sokolov B., Stoenchev S. Grinding in Ball Mills. Modeling and Process Control. Cybernetics and Information Technologies. 2012. Vol. 12. No 2. Pp.51–68. DOI: 10.2478/cait-2012-0012.

12. Mejdoub R., Hammi H., Khitouni M., Suñol J.J., M'nif A. The effect of prolonged mechanical activation duration on the reactivity of Portland cement. Effect of particle size and crystallinity changes. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 152. No 15. Pp. 1041–1050. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.008.

13. Li J., Hitch M. Structural and chemical changes in mine waste mechanically-activated in various milling environments. Powder Technology. 2017. No. 308. Pp. 13–19. DOI: 10.1016/j.powtec.2016.12.003.

14. Artamonov V.A., Vorobiev V.V., Svitov V.S. Experience in processing crushing screenings [Opyt pererabotki otsevov drobleniya]. Stroitel'nyye materialy. 2003. No. 6. Pp. 28–29. (rus)

15. Trautvain A.I. Analysis of the influence of the qualitative composition of the asphalt-concrete mixture on the main performance characteristics of asphalt concrete pavement. Construction Materials and Products. 2019. Vol.2. No. 1. Pp. 17–23. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-17-23. (rus)

16. Wang D., Chen X., X Xie, Stanjek H., Oeser M., Steinauer B. A study of the laboratory polishing behavior of granite as road surfacing aggregate Construction and Building Materials. 2015. No 89. Pp. 25–35. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.04.032.

17. Singh S., Nagar R., Agrawal V. A review on Properties of Sustainable Concrete using granite dust as replacement for river sand. Journal of Cleaner Production. 2016. No. 126 Pp. 74–87. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.03.114.

18. Alfimova N.I., Vishnevskaya Ya.Yu., Trunov P.V. Composite binders and products using technogenic raw materials [Kompozitsionnyye vyazhushchiye i izdeliya s ispol'zovaniyem tekhnogennogo syr'ya]. Saarbrücken. 2013. No. 129. (rus)

19. Kozhuhova N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchaya M.S., Strokova V.V., Tchizhov R.V. Revisiting a selection of natural and technogenic raw materials for geopolymer binders. International Journal of Applied Engineering Research. 2014. Vol. 9. Pp. 16945–16955.

20. Kozhukhova N.I., Strokova V.V., Kozhukhova M.I., Zhernovsky I.V. Structure formation in alkali activated aluminosilicate binding systems using natural raw materials with different crystallinity degree. Construction Materials and Products. 2018. Vol.1. Issue 4. Pp. 38–43. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-4-38-43.

21. Kozhukhova N.I., Zhernovsky I.V., Lebedev M.S., Sobolev K. Influence of Fe component from milling yield on characteristics of perlite based geopolymers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 560. No. 012148. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012148.

22. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of application of zero-cement binders of a nanohydration hardening type. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 25. No. 1. Pp. 119–123. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.25.01.7032.

*Information about the authors*

**Evtushenko, Evgeny I.** PhD, Professor. E-mail: eveviv@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

**Cherevatova, Alla V.** PhD, Professor. E-mail: cherry\_611@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

**Kozhukhova, Natalia I.** PhD, Assistant professor. E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

**Starostina, Irina V.** PhD, Assistant professor. E-mail: starostinairinav@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukova, 46.

**Osadchaya, Maya S.** Engineer. E-mail: myc87@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukov, 46.

**Kozhukhova, Marina I.** PhD, Post-Doctoral Associate. E-mail: kozhuhovamarina@yandex.ru. University of Wisconsin-Milwaukee. 3200 N Cramer Street, Milwaukee, WI 53211, USA

---

*Received 28.10.2020*

**Для цитирования:**

Евтушенко Е.И., Череватова А.В., Кожухова Н.И., Осадчая М.С., Старостина И.В., Кожухова М.И. Изучение эффективности механоактивации отсева гранита в мельницах различного типа при синтезе наноструктурированного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 102–112. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-102-112

**For citation:**

Evtushenko E.I., Cherevatova A.V., Kozhukhova N.I., Osadchaya M.S., Starostina I.V., Kozhukhova M.I. Study of mechanoactivation effectiveness of granite screening in mills of various types when synthesis of nanostructured binder. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 11. Pp. 102–112. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-102-112