

Кара К.А., канд. техн. наук, ст. препод.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИЗУЧЕНИЕ РАЗМОЛОСПОСОБНОСТИ КВАРЦСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК КАК КОМПОНЕНТА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

karina200386@yandex.ru

Рассмотрена возможность применения техногенных кварцсодержащих песков с учетом их химического и минералогического составов, размолоспособностью и гранулометрии с возможностью композиционного вяжущего с принципиально новыми свойствами и заранее заданной структурой композита.

Ключевые слова: композиционное вяжущее, кварцевые пески, отсеvy дробления кварцитопесчаника, кинетика помола, гранулометрический состав.

В настоящее время существует достаточно большое количество экономически эффективных и экологически чистых вяжущих веществ, разработанных и даже опробованных в заводских условиях, однако эти эффективные и заслуживающее скорейшего внедрения в отечественное производство вяжущие по ряду объективных и субъективных причин не нашли достойного применения. Разработка высокоэффективных вяжущих веществ нового поколения сегодня сопровождается применением сложных, с химической и минеральной точки зрения, составов компонентов с целью получения высококачественных бетонов разного функционального назначения с улучшенными, а иногда и с принципиально новыми свойствами и определенной заранее заданной структурой [1–15]. В основу создания таких вяжущих положен принцип целенаправленного управления технологией получения на всех ее этапах: использование активных компонентов, применение химических модификаторов, разработка оптимальных составов, использование механохимической активации компонентов и многих других приемов.

Структура и свойства многокомпонентных вяжущих определяются выбором необходимых исходных материалов, а также их соотношением, дисперсностью и активностью. Дисперсность частиц композиционного вяжущего может в определенных условиях сыграть и негативную роль, вот почему каждый раз необходимо учитывать тонкость помола компонентов вяжущего.

В связи с этим при разработке композиционных вяжущих для производства ячеистых бетонов целесообразно изучить размолоспособность кварцсодержащих добавок таких как природные кварцевые пески и техногенный песок – отсеvy дробления кварцитопесчаника [16, 17].

В качестве кварцсодержащих добавок использовали кварцевые пески Нижне-ольшанского месторождения (Белгородская обл.), Вяземского месторождения (Смоленская обл.), Курского месторождения (Курская обл.), Вольского месторождения (Саратовская обл.), Безлюдовского месторождения (Белгородская обл.) и отсеvy дробления кварцитопесчаника (КВП) Лебединского горно-обогатительного комбината, химический состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав кварцсодержащих добавок, мас. %

Добавка	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	CaO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	ZrO ₂	MnO
Песок ниже-ольшанский	94,9	3,46	0,284	0,064	0,107	0,282	–	0,28	0,159	0,046	0,017	0,0097
Песок вяземский	80,8	5,4	1,07	0,556	0,82	5,6	0,014	1,46	0,1	0,07	0,0013	0,038
Песок курский	95,7	2,98	0,256	0,079	0,195	0,276	–	0,382	0,095	–	–	–
Песок вольский	96,2	2,84	0,139	0,024	0,144	0,07	–	0,287	0,054	0,023	0,013	–
Песок безлюдовский	92,2	4,12	0,628	0,189	0,218	0,82	0,046	0,629	0,24	–	0,03	0,0076
Песок техногенный (отсеvy дробления КВП)	89,0	5,03	1,79	1,73	0,719	0,638	0,218	0,611	0,159	–	–	–

Результаты определения зернового состава кварцсодержащих добавок представлены в табл. 2 и на рис. 2, 3.

Таблица 2

Результаты определения зернового состава (фракция менее 5 мм)

Наименование	Частные остатки на ситах, %					Менее 0,16	Модуль крупности
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16		
Песок ниже-ольшанский	0,5	0,5	7	36	45	11	1,43
Песок вяземский	6	12	25	37	17	3	2,44
Песок курский	0,514	3,5	13,2 3	58,93	22,3 2	1,5	1,96
Песок вольский	0	0,1	71,8	27,5	0,3	0,5	2,71
Песок безлюдовский	0	1,25	5	12,5	81,2 5	0	1,26
Песок техногенный (отсевы дробления КВП)	44,0	14,9 7	17,6 7	6,74	5,95	10,63	3,52

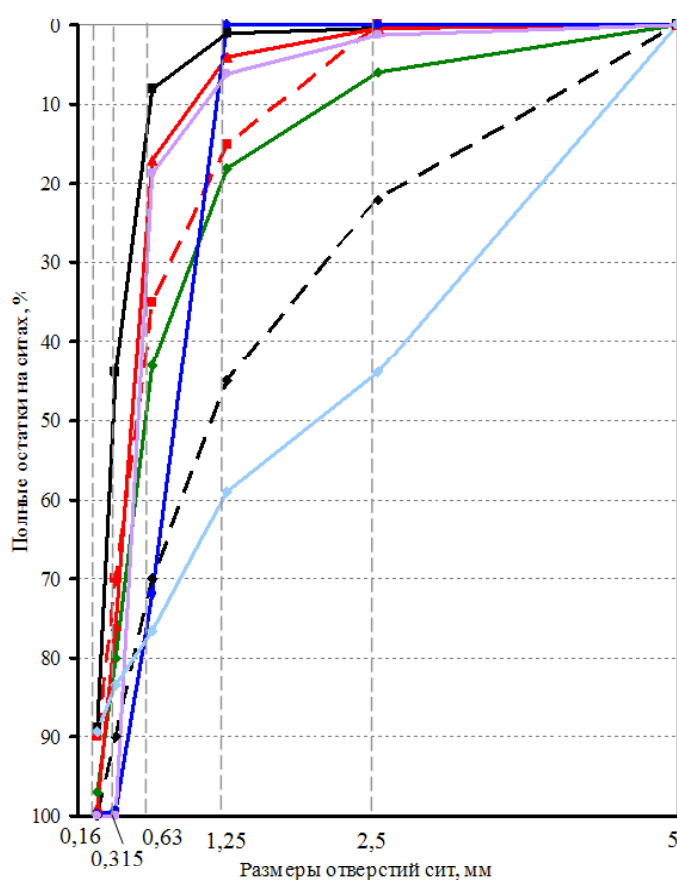


Рис. 1. Кривые просеивания кварцсодержащих добавок:

- ◆— нижняя граница крупности песка;
- ниже-ольшанский песок;
- ▲— курский песок;
- ◆— вяземский песок;
- ◆— вольский песок;
- ◆— безлюдовский песок;
- ◆— отсеvy дробления КВП
- верхняя граница крупности песка;

Минералогические составы кварцевых песков и отсеvов дробления КВП были исследованы методом рентгенофазового анализа (рис. 3).

Кварцитопесчаники представляют собой почти мономинеральные породы светло-серого цвета. Присутствие мусковита придает им желтоватый оттенок, тонкодисперсного гематита – розовый, фуксита – салатный. Основным порообразующим минералом

является кварц (75...95 %). Структура породы мелкозернистая (размер зерен 1...3 мм), гетерозернистая, гранобластовая, мозаичная. Текстура массивная. При выветривании кварцитопесчаники приобретают сахаровидный облик. В подошве полезной толщи встречаются линзы средних и крупнозернистых пород и фукситовых разновидностей. Практически по всем скважинам выявлены кварцитопесчаники, обогащенные слюдами (до 10...15 %).

Структура при этом становидная лепидогранобластовая, текстура от нечетко до четкой

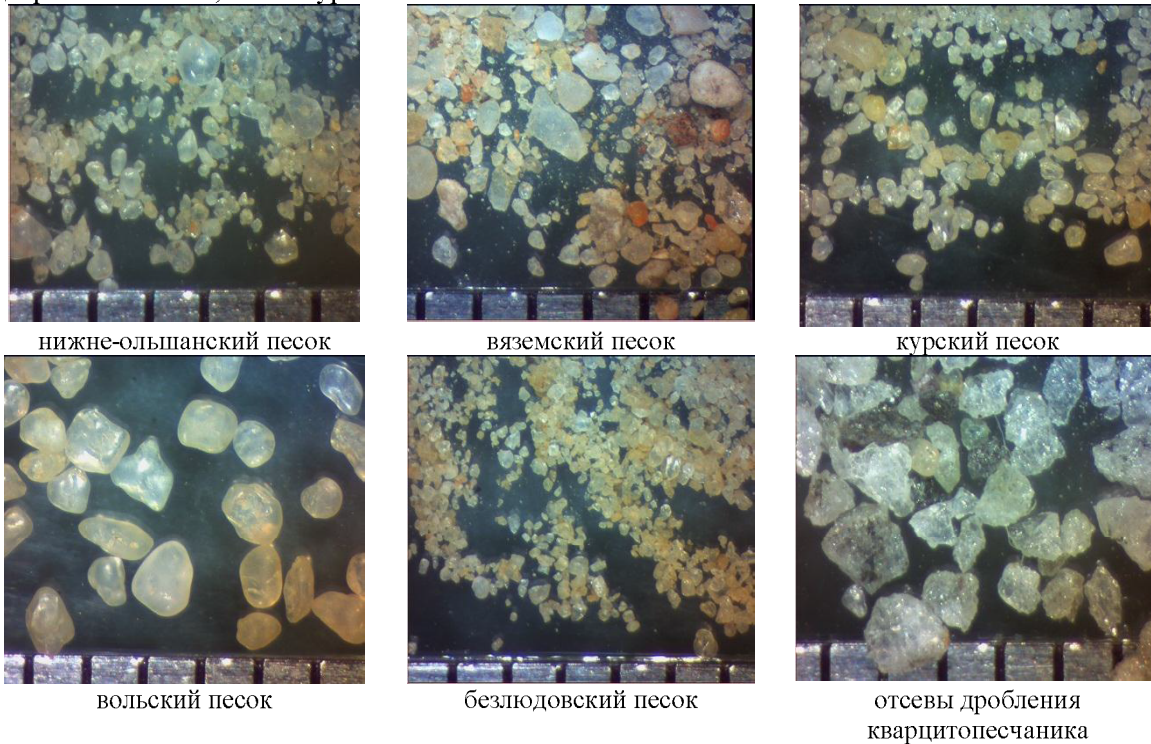


Рис. 2. Внешний вид кварцевых природных и техногенных песков

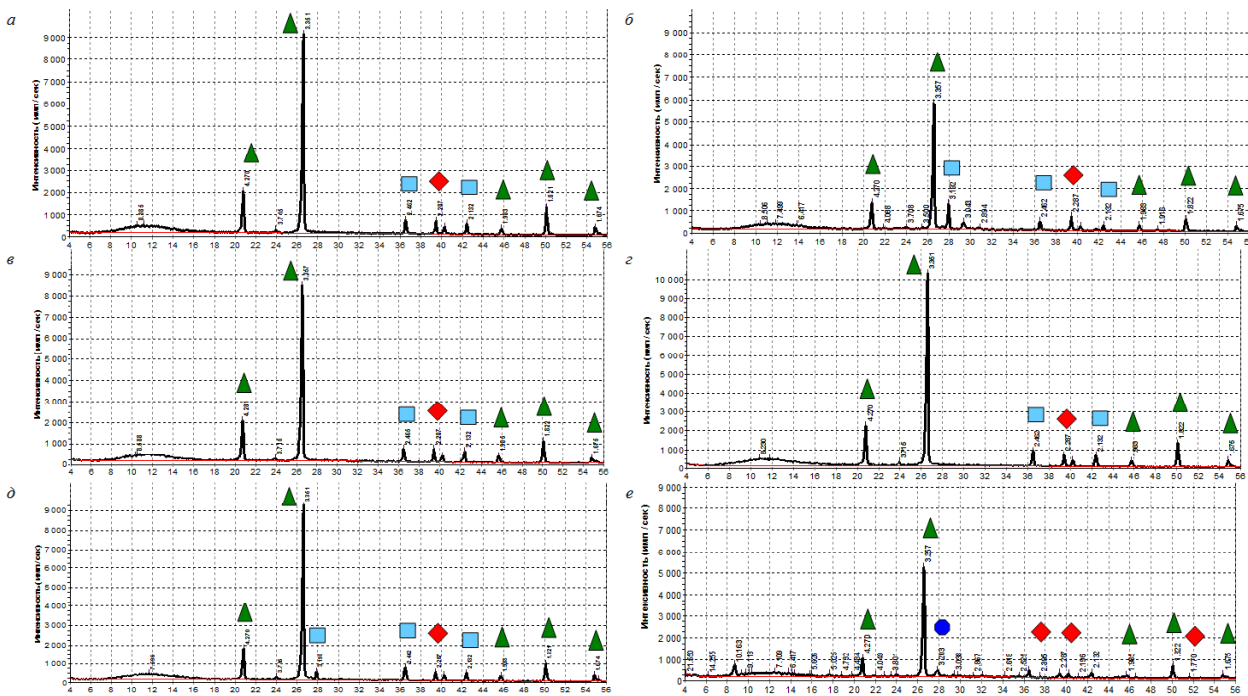


Рис. 3. Рентгенограммы кварцсодержащих добавок: *а* – песок нижне-ольшанский; *б* – песок вяземский; *в* – песок курский; *г* – песок вольский; *д* – песок безлюдовский; *е* – отсеы дробления КВП
 ▲ – β-кварц; ● – γ-тридимит; ◆ – α-тридимит; ■ – β-кристобалит

При изучении кинетики помола кварцевых песков (нижне-ольшанского, вяземского, курского, вольского и безлюдовского) и отсеы дробления КВП без суперпластификатора Полипласт П-1 и с его использованием

применялись программы расчета параметров кинетики различных процессов (рис. 4) [18].

В первые 20 мин помола песков не происходит значительного изменения удельной поверхности. А эффективный процесс помола

начинается после 20 мин, что объясняется обнажением малоактивной поверхности частиц песка и твердого плохо размалываемого слоя, образовавшегося в результате выветривания и других процессов, происходящих при образовании осадочных горных пород. Далее помол происходит с приростом удельной поверхности материала. При этом наилучшей размолоспособностью обладают вяземский, вольский и безлюдовский пески, удельная поверхность которых превышает 600 м²/кг, в то время как удельные поверхности ниже-

ольшанского и курского песков, при прочих равных условиях, не превышали 500 м²/кг. Кривая кинетики помола отсевов дробления КВП отличается от кривых кинетики помола кварцевых песков (рис. 4, а). Эффективный процесс помола отсевов дробления КВП начинается сразу же, в отличие от кварцевых песков, у которых он начинается только после 20 мин, о чем свидетельствует размер частиц и морфология кварцсодержащих добавок по истечении указанного времени, представленные на рис. 5.

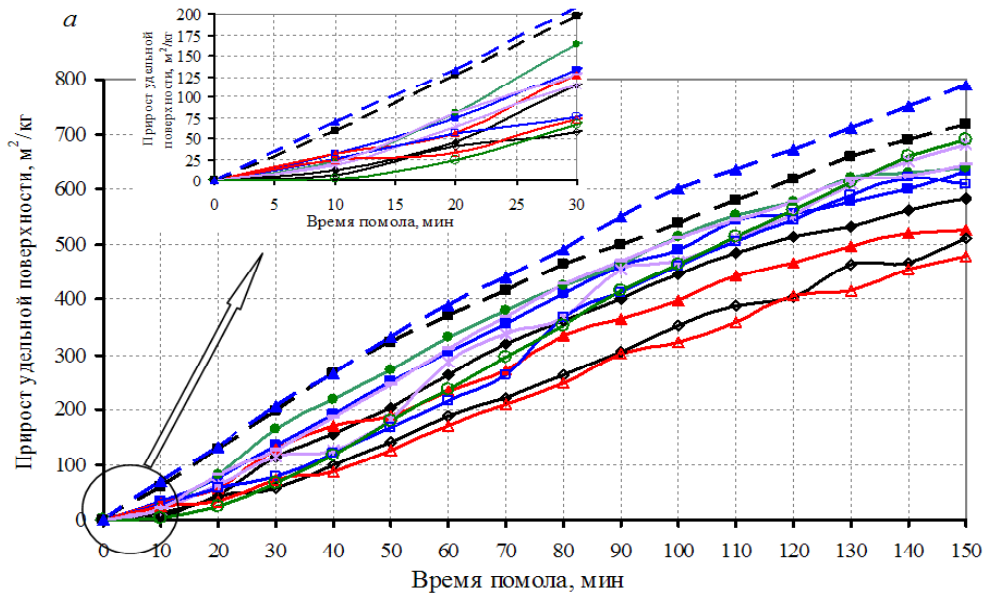


Рис. 4. Прирост удельной поверхности при помоле кварцевых песков и отсева дробления КВП:

- нижне-ольшанский песок + П-1; —□— вяземский песок;
- вяземский песок + П-1; —△— курский песок;
- ▲— курский песок + П-1; —○— вольский песок;
- вольский песок + П-1; —◇— безлюдовский песок;
- *— безлюдовский песок + П-1; —■— отсева дробления КВП;
- ◇— нижне-ольшанский песок; —▲— отсева дробления КВП+ П-1

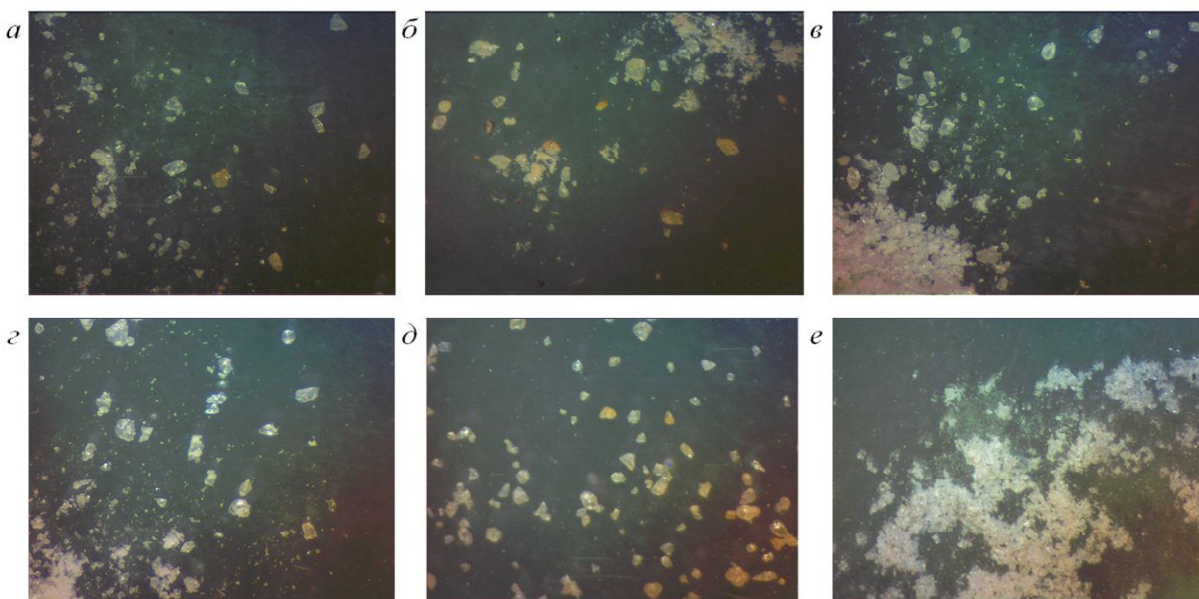


Рис. 5. Форма и размер кварцсодержащих добавок:
 а – нижне-ольшанский песок; б – вяземский песок; в – курский песок; г – вольский песок;
 д – безлюдовский песок; е – отсева дробления КВП

Введение суперпластификатора приводит к увеличению размолоспособности рассматриваемых кварцсодержащих добавок. Особенно эффективен помол курского и ниже-ольшанского песков с суперпластификатором. При помолу курского песка наблюдается прирост удельной поверхности до $530 \text{ м}^2/\text{кг}$. Это свидетельствует о том, что применяемый суперпластификатор адсорбируется на вновь образующихся при помолу положительно заряженных поверхностях, проникает в микротрещины, образованные дефектами кристаллической решетки и препятствует их самозалечиванию, увеличивая тем самым скорость помола.

Помол вяземского песка с суперпластификатором целесообразен только до 120 мин, а безлюдовского песка до 130 мин, так как при дальнейшем помолу наблюдается снижение удельной поверхности, что можно объяснить вторичным агрегированием частиц. Наилучшей размолоспособностью обладают

отсевы дробления КВП. При их помолу с суперпластификатором наблюдается ускорение процесса помола на всем промежутке времени, при этом не наблюдается снижение удельной поверхности вследствие вторичного агрегирования частиц.

Обработка экспериментальных данных по уравнениям теории переноса показала, что лучше они аппроксимируются уравнением, относящимся к процессам с интенсивным торможением.

Сравнение кинетических констант помола без суперпластификатора песков и отсевов дробления КВП (табл. 3, рис. 6) показало, что наибольшей начальной скоростью помола среди песков обладает безлюдовский песок ($U_0 = 6,42 \text{ м}^2/(\text{кг}\cdot\text{мин})$), но при этом у него самый большой коэффициент торможения ($k_t = 0,0005 \text{ кг}/\text{м}^2$), что снижает эффективность помола, что можно объяснить увеличением доли частиц, обладающих пониженной размолоспособностью [16, 17].

Таблица 3

Кинетические константы помола кварцсодержащих добавок

Состав	Начальная скорость U_0 , $\text{м}^2/(\text{кг}\cdot\text{мин})$	Коэффициент торможения k_t , $\text{кг}/\text{м}^2$	Коэффициент корреляции, $k_{кор}$
Ниже-ольшанский песок	4,17	0,0004	0,9578
Вяземский песок	4,84	0,0001	0,8716
Курский песок	3,61	0,0003	0,9662
Вольский песок	4,96	0,0001	0,9415
Безлюдовский песок	6,42	0,0005	0,9201
Ниже-ольшанский песок + П-1	4,93	0,0003	0,8513
Вяземский песок + П-1	6,19	0,0005	0,9406
Курский песок + П-1	4,42	0,0003	0,8666
Вольский песок + П-1	6,22	0,0004	0,9476
Безлюдовский песок + П-1	5,16	0,0002	0,6417
Отсевы дробления КВП	6,89	0,0004	0,9159
Отсевы дробления КВП + П-1	7,3	0,0003	0,9787

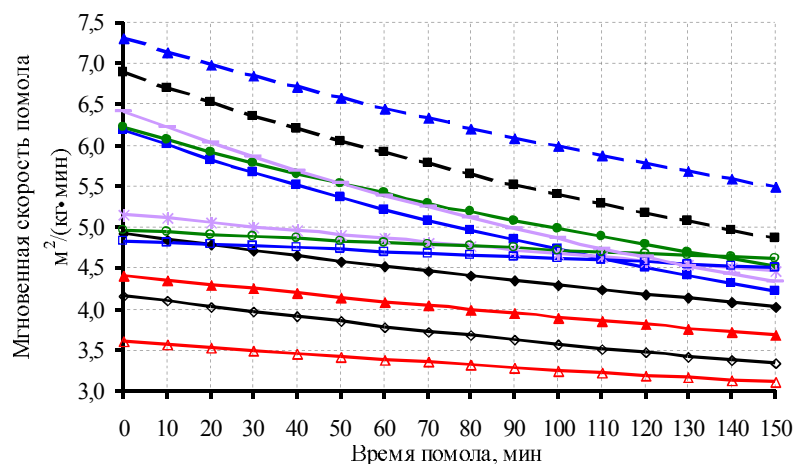


Рис. 6. Изменение мгновенной скорости помола песков и отсевов дробления КВП во времени.

- ниже-ольшанский песок + П-1; —■— вяземский песок;
- вяземский песок + П-1; —▲— курский песок;
- ▲— курский песок + П-1; —○— вольский песок;
- вольский песок + П-1; —◇— безлюдовский песок;
- ◇— безлюдовский песок + П-1; —■— отсевы дробления КВП;
- ниже-ольшанский песок; —▲— отсевы дробления КВП+ П-1

Начальные скорости помола вяземского и вольского песков примерно одинаковы, но меньше, чем у безлюдовского, и равны соответственно $U_0 = 4,84 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$ и $U_0 = 4,96 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$. Но при этом их коэффициенты торможения в 5 раз меньше, чем у безлюдовского, и равны $k_t = 0,0001 \text{ кг/м}^2$. У нижне-ольшанского песка начальная скорость помола меньше, чем у вяземского и вольского песков ($U_0 = 4,17 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$), но при этом коэффициент торможения в 4 раза выше ($k_t = 0,0004 \text{ кг/м}^2$).

Наименьшей начальной скоростью обладает курский песок ($U_0 = 3,61 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$) с достаточно большим коэффициентом торможения ($k_t = 0,0003 \text{ кг/м}^2$), что можно объяснить содержанием частиц повышенной прочности, а, следовательно, пониженной размолоспособностью.

Изменения во времени мгновенной скорости помола кварцсодержащих добавок с добавлением суперпластификатора П-1 подтверждают расчет кинетических констант (табл. 3). Наиболее целесообразен помол нижне-ольшанского и курского песков.

Анализ кинетических констант отсевов дробления КВП показал, что начальные скорости помола как без суперпластификатора, так и с ним значительно отличаются от соответствующих показателей кварцевых песков.

У отсевов дробления КВП начальная скорость помола в 1,4...1,9 раза выше

начальных скоростей помола кварцевых песков ($U_0 = 6,89 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$) и малый коэффициент торможения ($k_t = 0,0004 \text{ кг/м}^2$).

Введение суперпластификатора при помоле отсевов дробления КВП увеличивает начальную скорость помола ($U_0 = 7,3 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$) и снижает коэффициент торможения ($k_t = 0,0003 \text{ кг/м}^2$) по сравнению с помолом без него.

Анализ кинетики и кинетических констант помола кварцевых песков и отсевов дробления КВП показал, что энергетически целесообразно использовать отсевы дробления КВП, частицы которых представлены агрегатами зерен с более развитой поверхностью, многочисленными сколами, заостренными и выщербленными местами в сравнении с кварцевыми песками, что и подтверждается наибольшей начальной скоростью помола $U_0 = 6,89...7,3 \text{ м}^2/(\text{кг} \cdot \text{мин})$ и малыми коэффициентами торможения $k_t = 0,0003...0,0004 \text{ кг/м}^2$.

Для анализа распределения по размерам частиц кварцсодержащих добавок применялся метод гранулометрии, позволяющий определять размеры частиц и процент их содержания в анализируемом материале. Гранулометрические составы кварцевых песков и отсевов дробления КВП в начальный период помола, по окончании помола без суперпластификатора и с его добавлением имеют схожий характер и представлены на рис. 7.

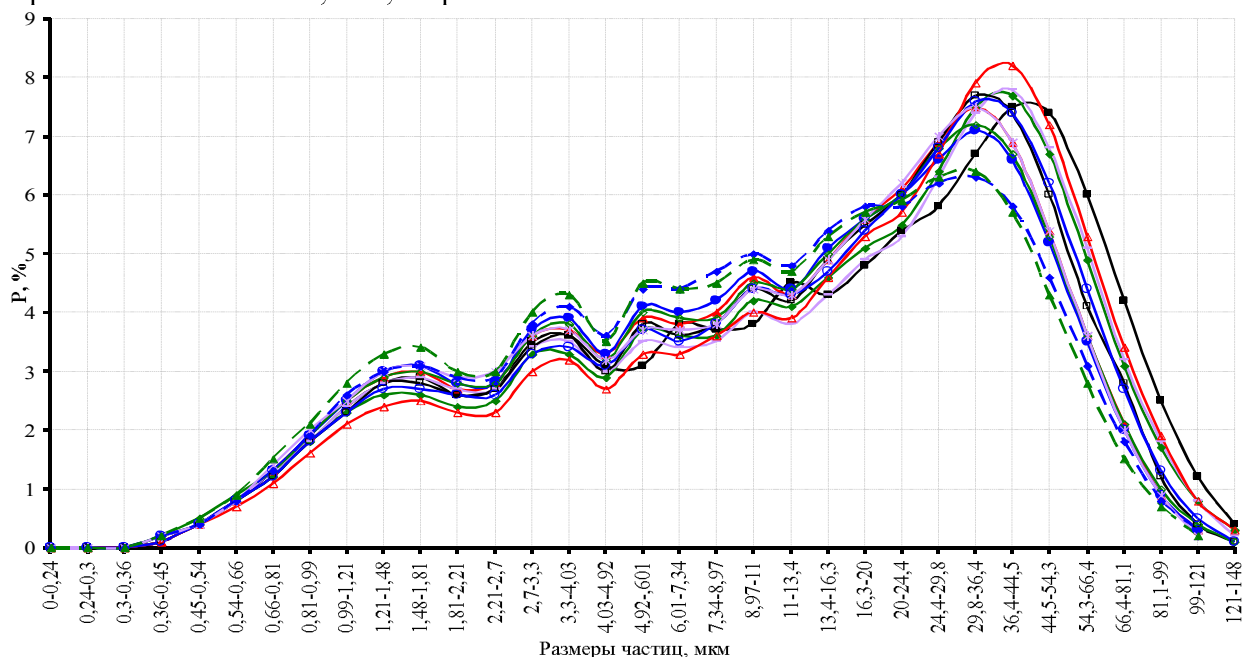


Рис. 7. Распределение частиц кварцевых песков и отсевов дробления КВП по размерам:

- нижне-ольшанский песок + П-1; —◆— вяземский песок;
- вяземский песок + П-1; —△— курский песок;
- ▲— курский песок + П-1; —○— вольский песок;
- вольский песок + П-1; —*— безлюдовский песок;
- ◇— безлюдовский песок + П-1; —○— отсевы дробления КВП;
- нижне-ольшанский песок; —▲— отсевы дробления КВП + П-1

На рис. 7 основная часть частиц представлена в диапазоне 0,36...148 мкм. При этом наблюдается несколько ярко выраженных пиков в диапазонах 0,99...2,21, 2,7...4,92 и 24,4...99 мкм. Кривые гранулометрического состава всех рассматриваемых кварцсодержащих добавок имеют пик в области крупных частиц. При этом самым крупнодисперсным является курский песок (содержание крупных частиц в диапазоне 29,8...54,3 мкм – 8 %), а самым мелкодисперсным – вяземский песок (содержание крупных частиц в этом же диапазоне – 7 %).

Следует отметить, что гранулометрические составы всех рассматриваемых кварцсодержащих добавок не имеют значительных расхождений. Однако они по-разному ведут себя при помоле с П-1. Так, при помоле ниже-ольшанского, вяземского и безлюдовского песков с П-1 наблюдается смещение в область крупных частиц, а при помоле курского и вольского песков с П-1 происходит смещение в область мелких частиц.

Кривые гранулометрического состава отсевов дробления КВП по характеру не имеют значительных различий по сравнению с кривыми гранулометрического состава песков. Они лишь различаются в высоте пиков различных диапазонов частиц. Отсевы дробления КВП более мелкодисперсны по сравнению с молотыми кварцевыми песками с такой же удельной поверхностью: имеют меньшее содержание крупных частиц в диапазоне 29,8...54,3 мкм (6,3 %) и большее содержание частиц в диапазоне 0,54...24,4 мкм (5,8 %).

С учетом данных кинетики помола и гранулометрического анализа кварцевых песков и отсевов дробления КВП установлено, что энергетически целесообразно использовать отсевы дробления КВП, обладающих лучшей размолоспособностью, частицы которых представлены агрегатами зерен с более развитой поверхностью, многочисленными сколами, заостренными и выщербленными местами в сравнении с кварцевыми песками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья. Saarbrucken, 2013.
2. Агеева М.С., Алфимова Н.И. Эффективные композиционные вяжущие на основе техногенного сырья. Saarbrucken, 2015. 75 с.
3. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н., Ластовецкий А.Н. О возможности использования техногенных песков в качестве сырья для производства строительных материалов // Региональная архитектура и строительство. 2008. № 2. С. 10–15.
4. Агеева М.С., Михайлова О.Н., Усенко Н.А., Ясер А.С. Свойства композиционных вяжущих на основе доменного гранулированного шлака // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова". (ФГБОУ ВПО «ГГНТУ»), г. Грозный. 2015. С. 431–435.
5. Агеева М.С., Михайлова О.Н., Усенко М.В. Оценка свойств композиционного вяжущего на шлаковом наполнителе // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова". (ФГБОУ ВПО «ГГНТУ»), г. Грозный. 2015. С. 436–439.
6. Агеева М.С., Помошников Д.Д., Тахиров С.З., Никулина А.С., Матюхина А.А. Активная минеральная добавка для цементов // В сборнике: Современное общество, образование и наука сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 16 частях. 2015. С. 7–8.
7. Агеева М.С., Погорелов А.В. Композиционное шлакоцементное вяжущее для строительных композитов различного назначения // В сборнике: Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 10 частях. Тамбов, 2013. С. 10–12.
8. Лесовик В.С., Агеева М.С., Иванов А.В., Михайлова О.Н. Композиционные вяжущие на основе доменного гранулированного шлака // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения). Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 118–121.
9. Алфимова Н.И., Трунов П.В., Шадский Е.Е. Модифицированные вяжущие с использованием вулканического сырья. Saarbrucken, 2015.
10. Алфимова Н.И., Трунов П.В. Продукты вулканической деятельности как сырье для

производства композиционных вяжущих // Сухие строительные смеси. 2012. № 1. С. 37.

11. Алфимова Н.И., Калатоци В.В. Композиционные вяжущие с использованием отходов мокрой магнитной сепарации // В сборнике: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. 2011. С. 110–115.

12. Алфимова Н.И. Керамзитовая пыль как компонент композиционных вяжущих // В сборнике: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. 2011. С. 3–6.

13. Кара К.А., Альтам М.А.С. Сырьевые ресурсы Йемена // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова". (ФГБОУ ВПО «ГГНТУ»), г. Грозный. 2015. С. 328–334.

14. Кара К.А., Шаафаль В.Ф. Строительные материалы и технологии современного строительства Йемена // В сборнике: VII Международный молодежный форум "Образование, наука, производство" "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2015. С. 613–619.

15. Кара К.А., Альтам М.А.С. К вопросу применения цементов Йемена для производства ячеистого бетона // В сборнике: Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2015. С. 226–231.

16. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Кондрашев К.Р., Гонга А.В., Ковалев С.Э. Анализ кинетики помола кварцсодержащих добавок для производства композиционных вяжущих // В сборнике: Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2015. С. 615–624.

17. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства. Белгород: КОНСТАНТА, 2011. 150 с.

18. Рахимбаев Ш.М. Расчет констант скорости некоторых процессов технологии искусственных конгломератов // II Проблемы материаловедения и совершенствование технологии производства строительных изделий. Белгород: БТИСМ, 1990. С. 42–51.

Кара К.А.

STUDY OF GRINDABILITY OF QUARTZ-BEARING ADDITIVES AS COMPONENT IN COMPOSITE BINDERS

The possibility of application of industrial quartz-bearing sands taking into account their chemical and mineral composition as well as grindability and granulometry to obtain the composite binder with ultimately new characteristics and pre-designed structure.

Key words: composite binder, quartz sands, screenings of sandstone, grinding kinetics, grain-size distribution

Кара Карина Александровна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры городского кадастра и инженерных изысканий.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: karina200386@yandex.ru.