

Шкарин А. В., аспирант,  
Загороднюк Л. Х., канд. техн. наук, проф.,  
Щекина А. Ю., аспирант,  
Лугинина И. Г., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ В РАЗЛИЧНЫХ ПОМОЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ\*

au5581674@rambler.ru

Установлено, что в различных помольных агрегатах: шаровой и вибрационной мельницах возможно получать композиционные вяжущие с различными физико-механическими показателями на основе перлита. В зависимости от соотношения вещественного состава компонентов сырьевой шихты целесообразно выбрать помольный агрегат.

Изучение микроструктуры образцов композиционных вяжущих, полученных в различных помольных агрегатах показало их отличия, обусловленные спецификой процесса помола.

**Ключевые слова:** композиционное вяжущее, шаровая мельница, вибрационная мельница, перлит, физико-механические показатели, микроструктура

В последние годы для получения высококачественных бетонов и повышения эффективности использования цемента в различных цементных композициях, применяют композиционные вяжущие вещества. При приготовлении композиционных вяжущих веществ к основному вяжущему компоненту добавляют различные специальные добавки и активные минеральные компоненты. Для регулирования свойств композиционных вяжущих в них вводят различные органические добавки, что позволяет в широком диапазоне варьировать свойства композиционного вяжущего в зависимости от их назначения [1-6].

Целью данной работы явилось получение композиционного вяжущего в различных помольных агрегатах, в частности в шаровой и в вибрационной мельницах. В качестве сырьевых материалов при получении композиционного вяжущего использовали Белгородский цемент ЦЕМ I 42,5Н, отвечающий требованиям ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия»; перлитовый песок М 75 производства ОАО «Осколснаб» г. Старый Оскол, соответствующий требованиям ГОСТ 10832-91 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия».

На первом этапе композиционные вяжущие вещества получали в шаровой мельнице. Количество цемента варьировали от 70 до 95%. Количество перлита варьировали от 5 до 30%. Совместный помол перлита и цемента совершали с различными временными интервалами: 10, 20, 30, 40, 50 мин.

Результаты физико-механических испытаний композиционных вяжущих в различные сроки твердения, полученных в шаровой мельнице, из различных сырьевых вариаций и про-

должительности приготовления приведены на рис. 1.

Выявлено, что при разных соотношениях Ц/П, при приготовлении композиционных вяжущих в шаровой мельнице, максимальные показатели по прочности при сжатии в возрасте 28 сут., так: при соотношении Ц/П = 95/5 и продолжительности помола 50 минут прочность составляет 51,8 МПа; при соотношении Ц/П = 90/10 и времени помола 40 минут – 59,27 МПа; при соотношении Ц/П = 85/15 и времени помола 50 минут – 37,88 МПа; при соотношении Ц/П = 80/20 и времени помола 50 минут – 29,15 МПа; при соотношении Ц/П = 75/25 и времени помола 50 минут – 28,73 МПа; при соотношении Ц/П = 85/15 и времени помола 30 минут – 32,25 МПа.

На основании выполненных экспериментов, установлено, что наилучший показатель – максимальная прочность при сжатии 59,27 МПа в возрасте 28 суток показал состав с содержанием 90% цемента и 10% добавки перлита, время помола вяжущего составило 40 мин. Полученные результаты позволяют принять этот состав за оптимальный для будущих исследований.

На втором этапе в вибрационной мельнице получали композиционные вяжущие вещества тех же составов и с теми же временными интервалами, как и в шаровой мельнице.

Результаты физико-механических испытаний композиционного вяжущего в различные сроки твердения, полученного в вибрационной мельнице, из различных сырьевых вариаций и продолжительности приготовления приведены на рис. 2.

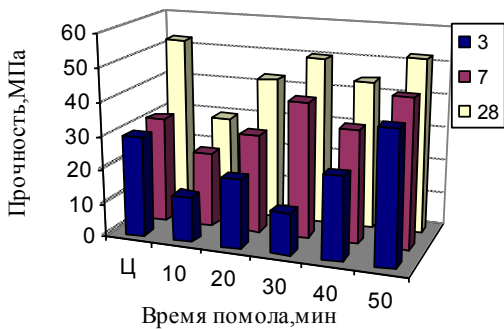
Испытания прочности при сжатии показали, что максимальную прочность 55,6 МПа в возрасте 28 сут. показал состав с содержанием

95% цемента и 5% добавки перлита, оптимальное время помола вяжущего составило 20 мин.

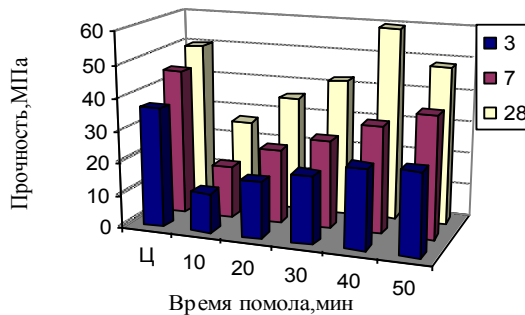
Как и в случае шаровой мельницы были выявлены максимальные показатели по прочности при сжатии в возрасте 28 сут. при разных соотношениях Ц/П, так: при соотношении Ц/П = 95/5 и продолжительности помола 20 минут прочность составляет 55,60МПа; при соотноше-

нии Ц/П = 90/10 и времени помола 10 минут – 43,19 МПа; при соотношении Ц/П = 85/15 и времени помола 10 минут – 50,94 МПа; при соотношении Ц/П = 80/20 и времени помола 20 минут – 44,95 МПа; при соотношении Ц/П = 75/25 и времени помола 20 минут – 45,10 МПа; при соотношении Ц/П = 70/30 и времени помола 20 минут – 35,26 МПа.

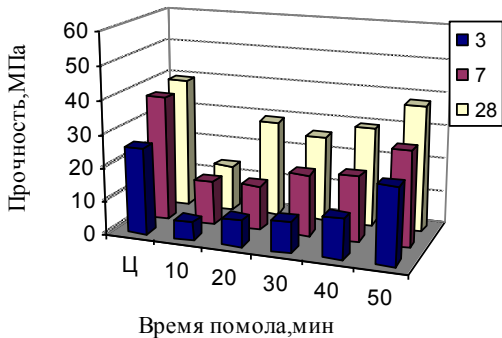
а) Соотношение Ц/П = 95/5. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 51,81МПа. (Время помола 50 мин.)



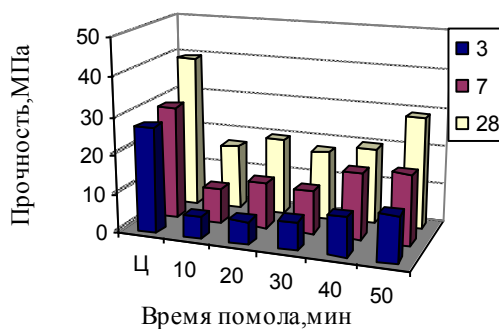
б) Соотношение Ц/П = 90/10. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 59,27МПа. (Время помола 40 мин.)



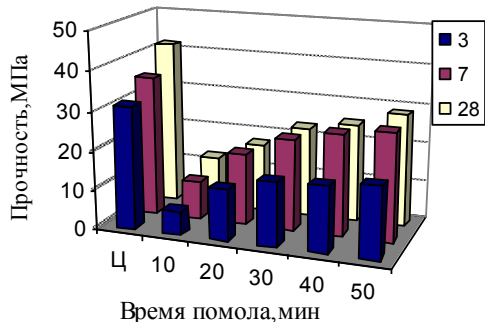
в) Соотношение Ц/П = 85/15. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 37,88МПа. (Время помола 50 мин.)



г) Соотношение Ц/П = 80/20. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 29,15МПа. (Время помола 50 мин.)



д) Соотношение Ц/П = 75/25. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 28,73МПа. (Время помола 50 мин.)



е) Соотношение Ц/П = 85/15. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 32,25МПа. (Время помола 30 мин.)

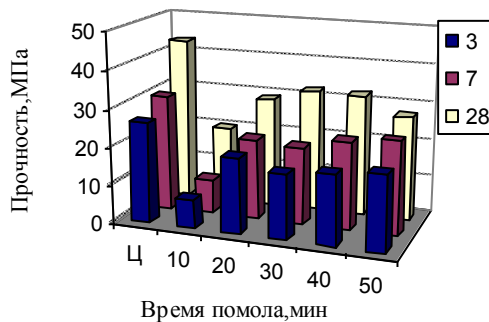
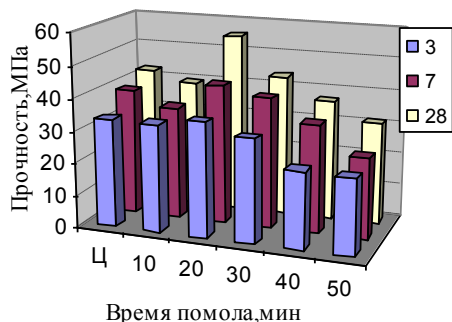
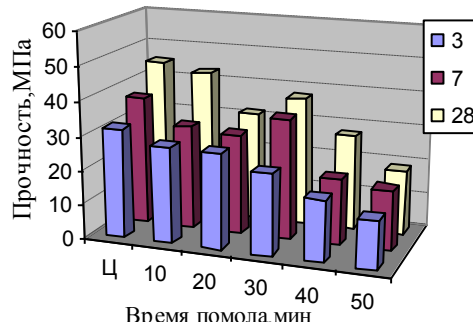


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии образцов в различные сроки твердения от состава композиционного вяжущего и продолжительности его помола в шаровой мельнице

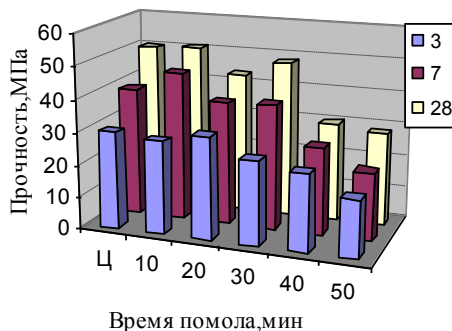
а) Соотношение Ц/П = 95/5. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 55,6МПа. (Время помола 20 мин.)



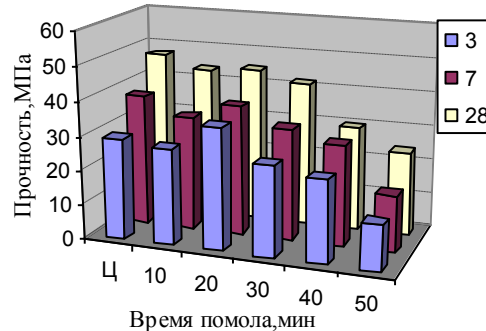
б) Соотношение Ц/П = 90/10. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 43,19МПа. (Время помола 10 мин.)



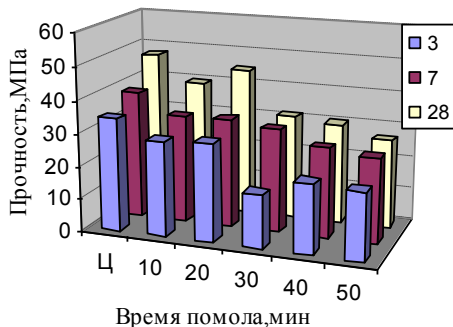
в) Соотношение Ц/П = 85/15. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 50,94МПа. (Время помола 10 мин.)



г) Соотношение Ц/П = 80/20. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 44,95МПа. (Время помола 20 мин.)



д) Соотношение Ц/П = 75/25. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 45,1МПа. (Время помола 20 мин.)



е) Соотношение Ц/П = 70/30. Максимальная прочность в возрасте 28 суток 35,26МПа. (Время помола, 20 мин)

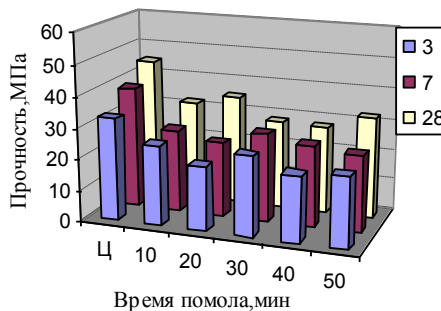


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии образцов в различные сроки твердения от состава композиционного вяжущего и продолжительности его помола в вибрационной мельнице

Для композиционных вяжущих, приготовленных в шаровой мельнице установлено что: введение добавки вспученного перлита от 5 до 10 % приводит к повышению прочности в сравнении с прочностью базового цемента; степень

упрочнения нарастает с повышением дисперсности перлита, наиболее эффективна 10 %-ая добавка тонкодисперсного перлита (повышение 28-суточной прочности цемента на 15 %); повышение прочности и последующее её нараста-

ние в отдалённые сроки твердения возможно за счёт пуццоланических реакций, обеспеченных присутствием тонкодисперсного перлита. Увеличение доли перлита от 5 до 30% в композиционном вяжущем приводит к значительному увеличению нормальной плотности цементного теста, особенно для составов с 25 и 30 % содержанием перлита (рис 3).

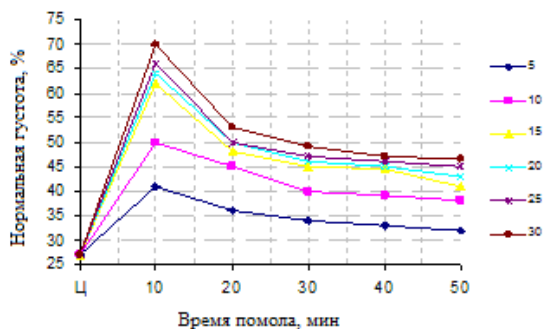


Рис. 3. Зависимость нормальной плотности от времени помола композиционного вяжущего вещества в шаровой мельнице для составов с различным содержанием перлита

Наибольшее увеличение нормальной плотности наблюдается при продолжительности помола 10 мин., что объясняется повышенной водопотребностью перлита.

Дальнейшее увеличение времени приготовления композиционного вяжущего в шаровой мельнице привело к снижению нормальной плотности. Кинетика нарастания прочности композиционного вяжущего приготовленного в шаровой мельнице приведена на рис 4.

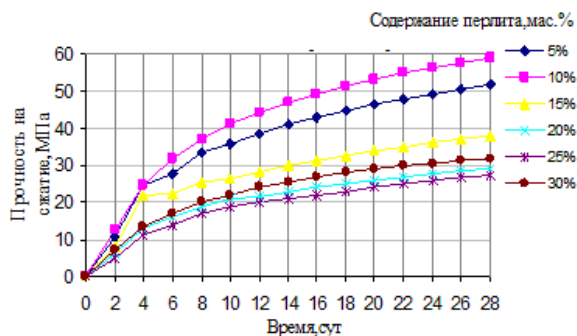


Рис. 4. Кинетика нарастания прочности композиционных вяжущих различных составов приготовленных в шаровой мельнице

Для композиционных вяжущих приготовленных в вибрационной мельнице установлено что: введение добавки вспученного перлита от 5 до 15 % приводит к повышению прочности в сравнении с прочностью базового цемента; наиболее эффективно введение 10% тонкодисперсного перлита, что даёт повышение прочности композиционного вяжущего на 5 % по сравнению с бездобавочным; увеличение и нарастание высокой прочности в поздние сроки твердения, вероятно, обеспечивается за счет проте-

кания пуццоланических реакций, обеспечиваемых высокодисперсным перлитом.

Увеличение доли перлита от 5 до 30 % в композиционных вяжущих, приводит к увеличению нормальной плотности цементного теста, особенно для составов с 25 и 30 % содержанием перлита (рис. 5).

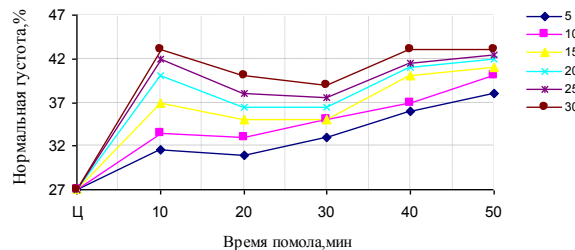


Рис. 5. Зависимость нормальной плотности от времени помола композиционного вяжущего вещества в вибрационной мельнице для составов с различным содержанием перлита

Увеличение времени приготовления композиционного вяжущего в вибрационной мельнице повысило его нормальную плотность. При приготовлении композиционного вяжущего от 20 до 30 минут наблюдается снижение нормальной плотности, при дальнейшем увеличении времени приготовления нормальная плотность увеличивается, что связано с высокой дисперсацией перлитового песка. Кинетика нарастания прочности композиционного вяжущего приготовленного в вибрационной мельнице приведена на рис 6.

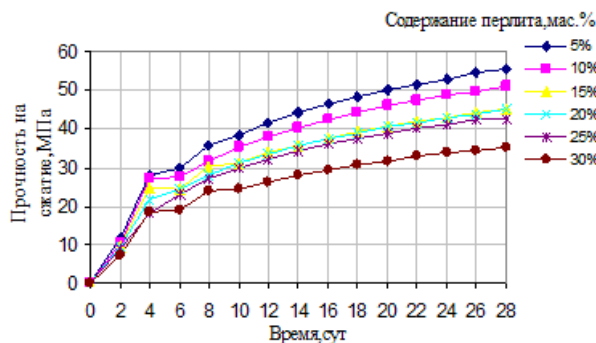


Рис. 6. Кинетика нарастания прочности композиционных вяжущих различных составов приготовленных в вибрационной мельнице

Сравнение физико-механических показателей композиционных вяжущих полученных в различных помольных агрегатах при различной продолжительности времени приготовления показало, что для составов, содержащих 10 и 25 % перлита эффективно измельчение в шаровой мельнице, а для составов содержащих 5, 15, 20 % перлита эффективно измельчение в вибрационной мельнице. При 30 % содержании перлита в композиционных вяжущих, кинетика нарастания прочности практически одинакова.

Изучены микроструктуры образцов композиционных вяжущих полученных в шаровой (соотношение Ц/П = 90/10, продолжительность

помола 40 мин.) и вибрационной (соотношение Ц/П = 95/5, продолжительность помола 20 мин.) мельницах в возрасте 28 сут. с оптимальными физико-механическими характеристиками. Микрофотографии структур композиционных вяжущих при различном увеличении представлены на рис. 7–9.

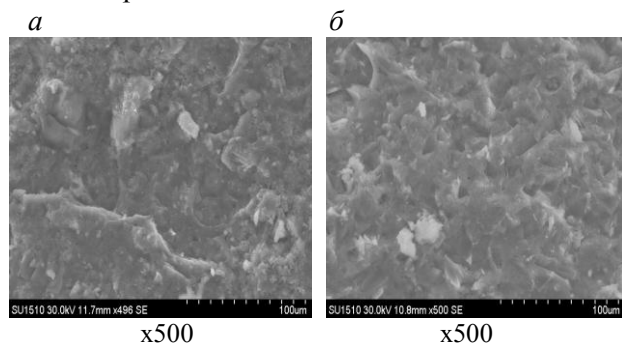


Рис. 7. Микрофотографии структуры композиционного вяжущего в возрасте 28 сут, приготовленного: *а* – в вибрационной мельнице; *б* – в шаровой мельнице

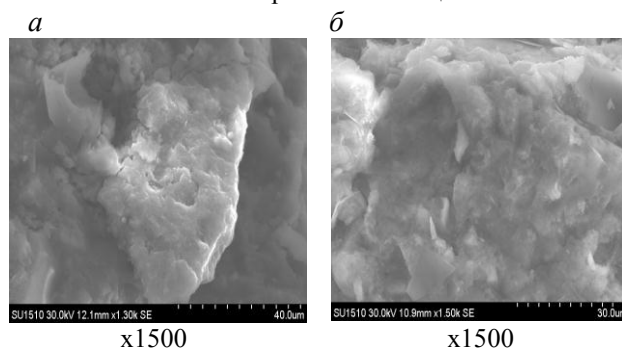


Рис. 8. Микрофотографии структуры композиционного вяжущего в возрасте 28 сут, приготовленного: *а* – в вибрационной мельнице; *б* – в шаровой мельнице

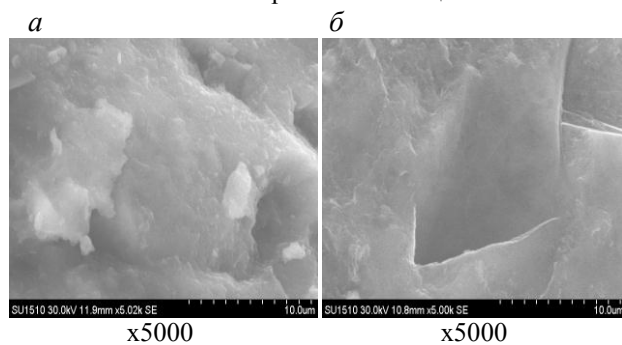


Рис. 9. Микрофотографии структуры композиционного вяжущего в возрасте 28 сут, приготовленного: *а* – в вибрационной мельнице; *б*) в шаровой мельнице

Исследования микроструктуры поверхности излома цементного камня на растровом ионно-электронном микроскопе Quanta 200 3D выявили незначительные различия в микроструктурах композиционных вяжущих, полученных в различных помольных агрегатах. В микроструктуре композиционного вяжущего, полученного в вибрационной мельнице, наблюдается струк-

турно-морфологическая неоднородность, система характеризуется наличием пор. Микроструктура композиционных вяжущих, полученных в шаровой мельнице, характеризуется более однородным и более плотным строением, что и обеспечивает более высокие физико-механические показатели прочности при сжатии.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в различных помольных агрегатах: шаровой и вибрационной мельницах, возможно получать композиционные вяжущие с различными физико-механическими показателями на основе перлита. Помольный агрегат целесообразно выбирать в зависимости от сырья и составов композиционных вяжущих. Изучение микроструктуры образцов композиционных вяжущих, полученных в различных помольных агрегатах выявило их отличия, обусловленные спецификой процесса приготовления.

*\*Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 годы.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик, Р.В. Активация наполнителей композиционных вяжущих / Вестник БГТУ им. Шухова. – 2009. – №1. с. 87 – 89.
2. Энтин, З.Б. Многокомпонентные цементы / З.Б. Энтин, Б.Э. Юдович // II Международное совещание по химии и технологии цемента. Москва, 4 – 8 декабря 2000г., т.1, М.: 2000. – с. 94 – 108.
3. Лесовик, В.С. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород / В.С. Лесовик, В.В. Строкова, А.Н. Кривенкова, Е.И. Ходыкин // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2009. – №1. с.25 – 27.
4. Лесовик, В.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.А. Яковлев, М.С. Шейченко // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2009. – №1. С.30 – 33.
5. Лесовик, В.С. Высокоэффективные композиционные вяжущие с использованием наномодификатора / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Я.Ю. Вишневская // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2010. – С.90.
6. Шейченко, М.С. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов Ковдорского месторождения / М.С. Шейченко, В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова // Вестник БГТУ им. Шухова. . – 2011. – №1. С.64 – 68.