

DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-121-129

Борисов И.Н., *Стронин А.А., Классен В.К.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: alexanderstronin@yandex.ru

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕЛЬНИЦЕ ОТКРЫТОГО ЦИКЛА ДВУХШАРОВОЙ МЕЛЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ ПО СРАВНЕНИЮ С ТРАДИЦИОННЫМИ АССОРТИМЕНТАМИ

Аннотация. В настоящее время цемент является наиболее распространенным вяжущим материалом, широко употребляющимся при производстве строительных работ. В последнее время все чаще стали использовать высокомарочный цемент по сравнению с рядовым. Это обусловлено тем, что чем выше марка цемента, тем меньше его количества необходимо для приготовления строительного раствора, а это в свою очередь приводит к экономической выгоде, т.к. цемент на современном рынке обладает сравнительно большой стоимостью. Высокая цена является следствием больших энергетических затрат, связанных с производством цемента. Отсюда вытекает необходимость в поиске путей, позволяющих интенсифицировать технологический процесс производства цемента. Авторами данной статьи продолжается проведение научных исследований, заключающихся в обосновании рациональности использования во второй камере мельницы двухшаровой загрузки. В данной работе сравнивается эффективность работы второй камеры мельницы при использовании двухшаровой загрузки по сравнению с несколькими вариантами традиционной загрузки и обстоятельно доказывается рациональность замены традиционных типов мелющих загрузок на двухшаровую. По результатам предыдущих исследований были выбраны несколько наиболее характерных ассортиментов двухшаровой загрузки, позволяющих за сравнительно короткое время измельчения получить готовый продукт с высокой тонкостью помола. Первый вариант традиционной загрузки, характеризуется тем, что во вторую камеру мельницы загружается ассортимент мелющих тел, состоящий только из шаров одного диаметра, второй вариант отличается от первого тем, что размольные шары заменены на цельнебс. Между тем ассортимент мелющей загрузки первой камеры у них одинаков.

Ключевые слова: измельчение клинкера, цементная мельница, мелющая загрузка, цельнебс, дисперсные характеристики.

Измельчение цемента является завершающей стадией его производства, помимо этого именно здесь окончательно формируется качество и потребительские свойства выпускаемой продукции, что в свою очередь влияет на конкурентоспособность предприятия [1]. Себестоимость реализуемого товара включает в себя все финансовые расходы, связанные с его производством [2]. В эти затраты, входит также общий расход электроэнергии, связанный с изготовлением цемента.

В условиях современного рынка, построенного на конкурентной основе, успех работы любого предприятия, независимо от того какой деятельностью оно занимается, зависит от его конкурентоспособности [3]. Поэтому руководители заинтересованы в применении на производстве энергоэффективных технологий и энергосберегающего оборудования [4]. В сфере производства строительных материалов цементная промышленность относится к самому энергоемкому производству. Удельный расход электроэнергии в зависимости от способа производства составляет 90 – 150 кВт·ч/т цемента [5]. При этом доля электроэнергии, затрачиваемая непосредственно на

измельчение цемента, колеблется в пределах от 40 до 50 % [6].

Из выше приведенных цифр видно, что необходимо разрабатывать и внедрять энергосберегающие технологии. В частности, для снижения энергопотребления в цехе помола широко используют перевод цементной шаровой мельницы на замкнутый цикл [7]. В данном случае направление совершенствования технологии измельчения цемента в мельницах сводится к созданию более совершенных типов сепараторов, отличающихся высокой степенью разделения частиц размолотого материала [8–11].

На сегодняшний день существует еще один довольно распространенный метод снижения удельного расхода электроэнергии, заключающийся в модернизации деталей и узлов шаровой мельницы, а также ее внутренней оснастки [12–14]. В этом направлении разрабатываются износостойкие материалы бронифутеровок, позволяющие увеличить количество часов бесперебойной работы помольного агрегата [15–17], виды профиля бронеплит [18], совершенствуется конструкция межкамерных перегородок [19–21].

Снизить энергоемкость процесса измельчения цемента в мельнице можно путем использования во второй камере рациональной по составу мелющей загрузки, которая обеспечит возможность получения в мельнице открытого цикла без изменения мелющей загрузки как рядовых, так и высокомарочных цементов без использования воздушных сепараторов, что приведет к снижению энергетических затрат, связанных с помолом.

В настоящее время для тонкого измельчения цемента во второй камере производственной мельницы используются только мелющие шары диаметром от 15 до 50 мм [22]. В советское время для этой цели служил цельпелс [23]. Лабораторная мелющая загрузка (МЗ), моделирующая процесс измельчения клинкера в производственных условиях, нами названа традиционной ТР31, ассортимент которой представлен в таблице 1. В этой же таблице представлены все ассортименты МЗ, участвующих в экспериментах.

Согласно методике ГИРОЦЕМЕНТ определения размолоспособности, ассортимент мелющей загрузки для лабораторной мельницы следующий. I камера: Ø74=10 кг; Ø60=9 кг; Ø54=16 кг; Ø40=20 кг; II камера: цельпелс. Коэффициент заполнения и общая масса мелющих тел в обеих камерах 0,2 и 55 кг, соответственно. Данная загрузка названа ТР32.

Из большого количества разных вариантов ассортимента двухшаровой мелющей загрузки (ДШЗ) [24–26] нами был выбран Ø40+мелкий шар. Выбор был продиктован возможностью получения за сравнительно короткое время помола

высокомарочного цемента в мельнице открытого цикла.

Цель исследований: показать возможность получения в мельнице открытого цикла без использования сепаратора готового продукта с улучшенными значениями показателей, характеризующих тонкость помола, по сравнению с традиционно применяемым для этой цели ассортиментом размольных шаров и цельпелса.

Задачи исследований:

- осуществить измельчение клинкера с использованием в мельнице традиционной мелющей загрузки (ТР31);
- в течение всего процесса помола измерять значения показателей дисперсных характеристик, таких как удельная поверхность, суммарный остаток на контрольном сите №008, по завершению процесса помола определить содержание основных фракций в порошке продукта измельчения и ширину гранулометрического интервала;
- по полученным данным графически построить кинетику изменения дисперсных характеристик во времени размалываемого материала;
- осуществить повторное измельчение клинкера, при этом заменив шаровую загрузку второй камеры на цельпелс (ТР32);
- построить аналогичные графики зависимостей показателей дисперсных характеристик от времени;
- на основании полученных результатов исследований, провести сравнительный анализ и сделать заключение.

Таблица 1

Ассортименты МЗ, использованные в рамках научной работы

Наименование мелющей загрузки	Ассортимент мелющей загрузки	
	I камера	II камера
Традиционная (ТР31)	Ø74/Ø60/Ø54/Ø40	мелкий шар одного диаметра
Традиционная (ТР32)	Ø74/Ø60/Ø54/Ø40	цельпелс
Двухшаровая	Ø74/Ø54 (ПШУ)	Ø40+мелкий шар

В рамках данных научных исследований использовался клинкер, производства ЗАО «Осколцемент» фракции -5+1,25 мм. Измельчение проводили без гипса в мельнице ГИПРОЦЕМ 0,5x0,56 м, объемом 10 л. При работе с двухшаровой загрузкой в целях достижения чистоты эксперимента в первой камере использовали энергоэффективную мелющую загрузку, менее чувствительную к колебаниям фракционного состава, загружаемого материала. В качестве такой загрузки было решено использовать плотную шаровую упаковку (ПШУ) [27] с ассортиментом мелющих тел Ø74/Ø54=2:1. В остальных случаях в первой камере была загрузка Ø74/Ø60/Ø54/Ø40,

в которой масса шаров диаметром 74 мм составила 10 кг, 60 мм – 9 кг, 54 мм – 16 кг и 40 мм – 20 кг. Во всех экспериментах масса мелющей загрузки в обеих камерах имела одинаковое значение равное 55 кг.

Моделирование работы второй камеры осуществляли следующим образом. Вначале исследуемый клинкер измельчался в первой камере на ПШУ или Ø74/Ø60/Ø54/Ø40, в зависимости от эксперимента, в течение 10 мин, затем из мельницы извлекались размольные шары, и загружалась исследуемая мелющая загрузка. Таким образом, время измельчения клинкера в камере тонкого помола составило 30 мин, общее время измельчения – 40 мин.

Через каждые 10 мин помола от порошка размалываемого материала отбирались пробы для установления величины удельной поверхности и остатка на контрольных ситах № 02 и 008. По завершении процесса измельчения у готового

продукта определяли гранулометрический состав, а также ширину фракционного состава на приборе ANALYSETTE 22 NanoTec plus. Полученные результаты представлены на рисунках 1 – 2.

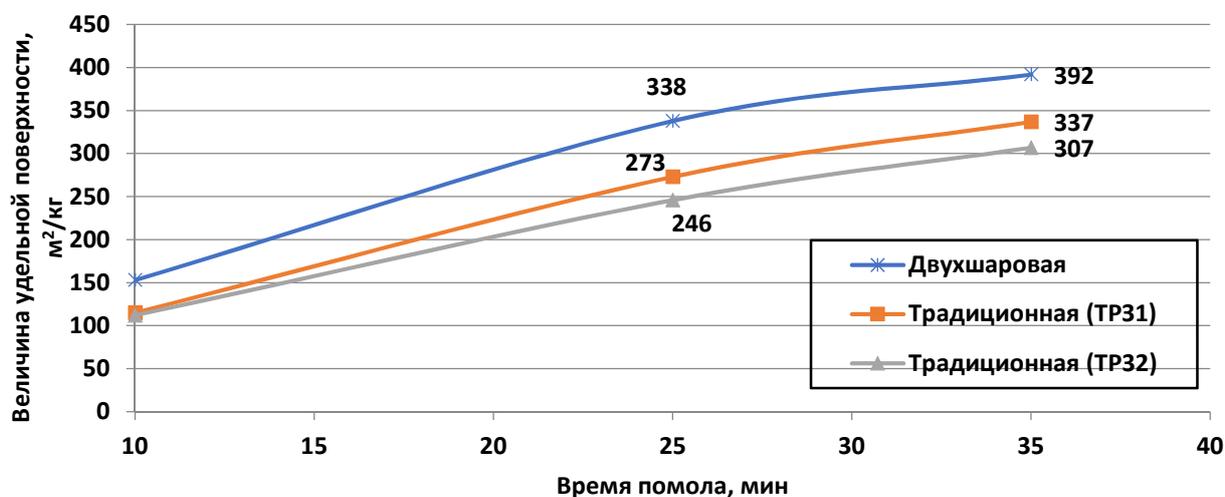


Рис. 1. Кинетика изменения удельной поверхности размалываемого клинкера во второй камере

Помол клинкера на ТР31 приводит к следующим результатам: через 10 мин помола в первой камере удельная поверхность составляет $115 \text{ м}^2/\text{кг}$, $\sum R_{008}=51,3\%$, к 25 и 35 минуте помола указанные показатели имеют значения $S_{уд}=323 \text{ м}^2/\text{кг}$, $\sum R_{008}=7,4 \%$, и $S_{уд}=385 \text{ м}^2/\text{кг}$, $\sum R_{008}=3,4 \%$, соответственно (рис. 1 – 2). Заменяя двухшаровую загрузку в мельнице на традиционную (ТР31) у готового продукта по завершению процесса помола наблюдается уменьшение величины удельной поверхности на 14 % и увеличение в 2 раза суммарного остатка на сите №008.

Измельчение клинкера на загрузке ТР32 приводит к получению продукта измельчения с ухудшенными значениями дисперсных характеристик. Так по завершении процесса измельчения удельная поверхность составила $367 \text{ м}^2/\text{кг}$, полный остаток на сите №008 6,4 %.

Заменяя во второй камере мельницы ассортимент мелющих загрузок ТР31 (состоящей из размольных шаров одного диаметра) на цельпес, наблюдается увеличение в 2 раза суммарного остатка на сите №008 и примерно на 5 % уменьшается удельная поверхность на момент окончания помола клинкера.

Если проводить численное сравнение дисперсных характеристик готового продукта, измельченного на ТР32, с клинкером, измельченным на двухшаровой загрузке, то в данном случае негативный эффект использования цельпеса становится еще более очевидным. При этом $\sum R_{008}$ возрастает с 1,7 % до 6,4 %, т.е. увеличивается в 4 раза, в то же время $S_{уд}$ уменьшается на

22 % (с $392 \text{ м}^2/\text{кг}$ до $307 \text{ м}^2/\text{кг}$). Аналогичная зависимость наблюдается на промежуточной стадии измельчения.

По завершению процесса измельчения клинкеров на разных мелющих загрузках, у продукта измельчения определяли гранулометрический состав, полученные результаты представлены на рис. 3 в виде гистограммы.

Из рис. 3 видно, что порошок клинкера, полученный с использованием во второй камере мельницы цельпеса характеризуется повышенным содержанием крупной фракции (24,48 %) и пониженным количеством мелкой фракции (12,48 %), содержание частиц размером 5–30 мкм составило 66,04 %.

В случае замены цельпеса на мелющие шары одного диаметра (помол на загрузке ТР31) наблюдается увеличение количества частиц размером менее 5 мкм на 3 %, уменьшение содержания частиц размером более 30 мкм на 5 %, но при этом доля средней фракции изменяется не значительно.

Помол на двухшаровой загрузке позволяет увеличить содержание средней фракции до 69,78 %, мелкой до 17,6 %, при этом снизив долю крупной фракции до 12,62 %. порошок клинкера, полученный на этой загрузке, по сравнению с порошком, полученным на ТР31, содержит на 5 % больше частиц размером – 30 мкм,

Проводя аналогичное сравнение влияния на гранулометрический состав порошка клинкера между двухшаровой загрузкой и ТР32 видно, что в данном случае эффективность использования двухшаровой загрузки становится более очевидной, т.к. в данном случае происходит увеличение

содержания мелкой фракции на 5 %, количество крупной фракции, наоборот, уменьшается в 2 раза. Доля средней фракции заметным образом не изменяется.

Ширина гранулометрического интервала порошка клинкера, измельченного на загрузке

ТР32, на 12 % больше чем у клинкера, измельченного на загрузке ТР31 (рис. 4). После проведения замены ТР32 на двухшаровую загрузку произошло снижение величины данного показателя на 17 %.

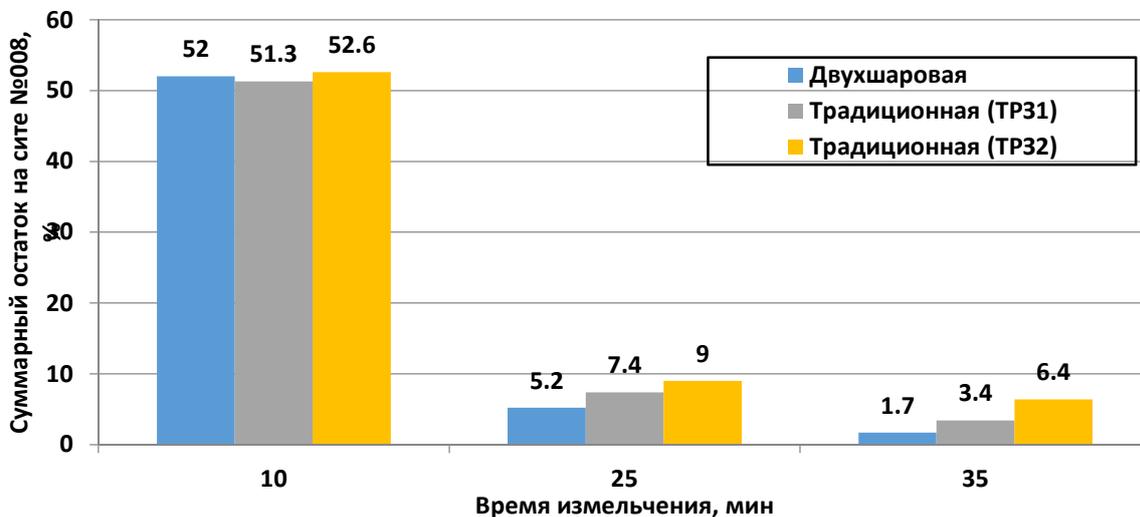


Рис. 2. Кинетика изменения полного остатка на сите №008 размалываемого клинкера во II камере

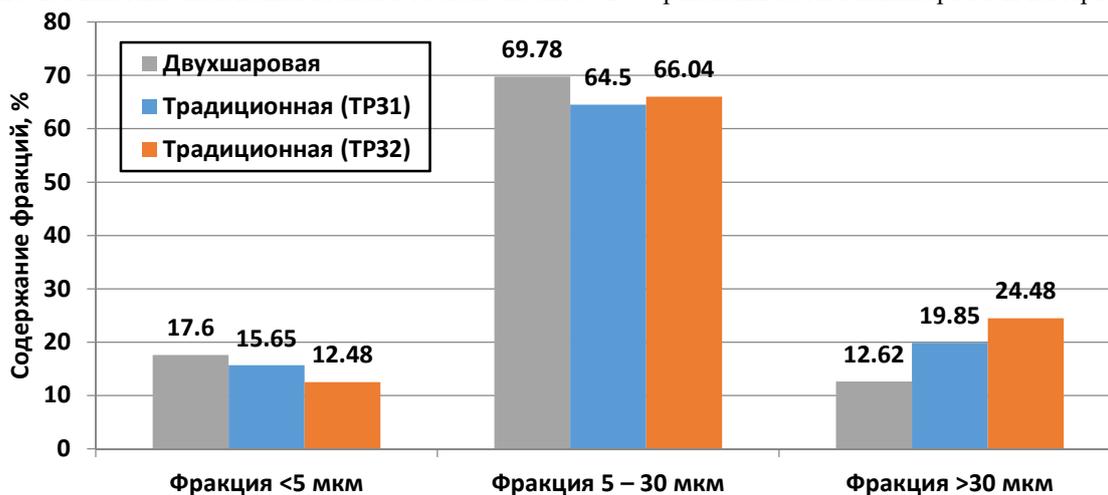


Рис. 3. Содержание основных фракций в порошке клинкера после 35 мин помола



Рис. 4. Влияние ассортимента мелющих тел второй камеры мельницы на ширину гранулометрического интервала

Исходя из всего выше сказанного, можно сделать следующие выводы:

– Замещение мелющих шаров второй камеры мельницы на цельпёбс сопровождается снижением на 9 % величины удельной поверхности (на момент завершения помола), при этом происходит увеличение в 2 раза остатка на контрольном сите №008 (также в конце измельчения). Кроме того, подобная замена не сказывается ощутимым образом на содержании основных фракций в порошке готового продукта. Аналогичная зависимость наблюдается и на промежуточной стадии измельчения (т.е. на 25 мин помола);

– Замещение мелющей загрузки ТР31 на двухшаровую сопровождается увеличением удельной поверхности на 19 % и 14 %, уменьшением полного остатка на сите №008 в 1,5 раза и в 2 раза к 25 мин и 35 мин, соответственно.

– Проводя аналогичное сравнение двухшаровой загрузки и ТР32 следует, что преимущество первой заключается в возможности получения готового продукта с величиной удельной поверхности на 22 % превышающей значения удельной поверхности порошка клинкера, полученного на загрузке ТР32, одновременно с этим происходит снижение в 4 раза суммарного остатка на контрольном сите №008. Различие в гранулометрическом составе у порошков продукта измельчения, полученного с использованием рассматриваемых мелющих загрузок незначительное.

– Наличие цельпёбса во второй камере мельницы приводит к образованию полидисперсного продукта измельчения (обладающего широким гранулометрическим интервалом), двухшаровая загрузка наоборот способствует получению продукта с более однородным (узким) фракционным составом.

В ходе проведения научных исследований установлено, что суммарное использование ПШУ (предназначенной только для первой камеры) и двухшаровой мелющей загрузки гораздо более эффективно, чем использование традиционной мелющей загрузки любого ассортимента, т.к. позволяет за одно и то же время помола получить порошок клинкера, имеющего улучшенные значения показателей тонкости помола, по сравнению с порошками, полученными на традиционных загрузках. Это находит отражение в пониженном суммарном остатке на контрольном сите №008 и высоким значением удельной поверхности. Применение двухшаровой загрузки помимо всего выше перечисленного позволяет получать более однородный по фракционному составу порошок.

Целью дальнейших научных исследований является установление оптимального ассортимента мелющих тел во второй камере мельницы, позволяющего без перевода мельницы на замкнутый цикл, получать в помольном агрегате высокомарочный цемент.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крыхтин Г.С., Кузнецов Л.Н. Интенсификация работы мельниц. Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. 240 с.
2. Айхас К. Оптимизация работы помольных установок // Цемент и его применение. 2015. №4. С. 32–36.
3. Яркина Т.В. Основы экономики предприятия: краткий курс. М.: Российский гуманитарный интернет-университет (РГИУ), 2005. 85 с.
4. Буянова А.С., Девятаева Н.В. Применение энергоэффективных и энергосберегающих технологий в цементной отрасли России // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. №3-1. С. 161–164.
5. Дуда В. Цемент. М.: Стройиздат. 1981. 484 с.
6. Синякин А.Г. Снижение энергоёмкости помола цемента за счет использования добавок интенсификаторов помола SIKAGRIND // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2007. №4. С. 34 – 36.
7. Теличенко В.А., Шарапов Р.З., Скель В.И., Харламов Е.В. Анализ эффективности процесса измельчения в шаровых мельницах замкнутого цикла // Механизация строительства. 2016. Т. 77. №11. С. 13–17.
8. Хальбур М. Сепараторы, которые повесят удовлетворить требования будущего // Цемент и его применение. 2015. №4. С. 52–54.
9. Маршалль М.Ф. Новый высокоэффективный сепаратор // Цемент и его применение. 2017. №4. С. 100–101.
10. Рогачев С.П., Ларин А.В. Преимущества применения сепараторов 4-го поколения при модернизациях помольных линий // Цемент и его применение. 2018. №3. С. 62–64.
11. Богданов В.С., Богданов Д.В., Анненко Д.М., Герасименко В.Б., Помазов Д.А. Анализ эффективности измельчения в шаровых замкнутого цикла // Межвузовский сборник научных статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 20–27.
12. Тишакова И.С., Юрьева М.В. Наклонная межкамерная перегородка // Образование, наука, производство. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 1748–1750.
13. Тишакова И.С., Юрьева М.В. Двойная

наклонная межкамерная перегородка для трубной сепараторной мельницы // Образование, наука, производство Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 1742–1747.

14. Несмеянов Н.П., Картыгин А.В. Внутримельничные устройства и их влияние на процесс измельчения цементного клинкера // В сб.: Научные технологии и инновации: сб. науч. трудов по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. С. 115–118.

15. Тишакова И.С., Еремченко С.М. Бронифутеровка трубной мельницы // Образование, наука, производство Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 1547–1550.

16. Богданов В.С., Хахалев П.А., Масловская А.Н. Методика проектирования энергообменных футеровок шаровых барабанных мельниц // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №1. С. 67–72.

17. Дегтярев П.А. Шаровая мельница 2,6X5,75 м с различными вариантами футеровочных плит // IX Международная научно-практическая конференция молодых студентов, аспирантов и ученых. Сборник докладов в 4-х томах. Белгородский технологический университет им. В.Г. Шухова. 2018. С. 27–29.

18. Порсев М.А. Модернизация конструкции бронифутеровочных плит в шаровых мельницах // Цемент и его применение. 2013. №5. С. 44–47.

19. Смольков М.Г. Трехсекционная межкамерная перегородка трубной шаровой мельницы // VII Международная научно-практическая конференция молодых студентов, аспирантов и ученых. Сборник докладов в 3-х томах. Белгородский технологический университет им. В.Г. Шухова. 2014. С. 276–279.

20. Порсев М.А., Чуманов И.В. К вопросу о повышении ресурса работы межкамерных пере-

городок цементных мельниц // Цемент и его применение. 2016. №6. С. 62–65.

21. Мамотов С.М., Мамотов Д.И. Анализ конструкции внутримельничного устройства с наклонной перегородкой // Международная научно-практическая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский технологический университет им. В.Г. Шухова. 2017. С. 2630–2634.

22. Дешко Ю.И., Креймер М.Б., Крыхтин Г.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. М.: Стройиздат. 1966. 270 с.

23. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: Недра. 1985. 285 с.

24. Барбанягрэ В.Д., Стронин А.А. Влияние на гранулометрический состав клинкера ассортимента мелющих тел и интенсификатора помола // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №1. С. 71–75.

25. Барбанягрэ В.Д., Стронин А.А. Исследование влияния диаметра крупного шара в мелющей загрузке мельницы открытого цикла на дисперсные характеристики клинкера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №5. С. 60–65.

26. Стронин А.А., Барбанягрэ В.Д. Сравнение эффективности использования разных типов плотной шаровой загрузки при измельчении портландцементного клинкера // Труды II Международной науч.-техн. конф. «Энергетические системы» (23 – 24 ноября 2017 г.). Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. С. 554–558.

27. Пат 2477659, Российская федерация, МПК В02С 17/20. Шаровая загрузка барабанной мельницы / В.Д. Барбанягрэ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". № 2010121271/13; заявл. 25.05.2010; опубл. 20.03.2013.

Информация об авторах

Борисов Иван Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Стронин Александр Анатольевич, аспирант кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: alexanderstronin@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Классен Виктор Корнеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии цемента и композиционных материалов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2019 г.

© Борисов И.Н., Стронин А.А., Классен В.К., 2019

Borisov I.N., *Stronin A.A., Klassen V.K.
 Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
 Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
 *E-mail: alexanderstronin@yandex.ru

ADVANTAGE OF RECOVERY THE DOUBLE-BALL GRINDING MEDIA IN THE SECOND CHAMBER OF THE MILL OPEN CYCLE IN CONTRAST TO TRADITIONAL ASSORTMENT OF GRINDING MEDIAS

Abstract. At present, cement is the most common binding material widely used in construction work. Recently, high-quality cement has become increasingly used in comparison with ordinary cement. This is due to the fact that the use of high grade cement requires a smaller amount for the preparation of mortar, it is economically viable, because in today's market, cement has a relatively high cost. The high price is a consequence of the high energy costs associated with the production of cement. This implies the need to find ways to intensify the technological process of cement production. The authors of this article continue to conduct scientific research, which consists in substantiating the rationality of recovery a double-ball media in the second chamber mill. This paper compares the efficiency of the second chamber of the mill when using a double-ball grinding media in comparison with several variants of the traditional media and thoroughly proves the rationality of replacing the traditional types of grinding media with a double-ball. Based on the results of previous studies, several of the most characteristic assortments of double-ball media are selected, which made it possible to obtain a finished product with a high fineness of grinding in a relatively short grinding time. The first variant of the traditional loading is characterized by the fact that the second chamber of the mill is loaded with an assortment of grinding bodies consisting only of balls of the same diameter; the second variant differs from the first in that the grinding balls are replaced with cylpebs. Meanwhile, the assortment of grinding media for the first chamber is the same.

Keywords: grinding of clinker, cement mill, grain size composition, cylpebs, dispersed characteristics.

REFERENCES

1. Krykhtin G.S., Kuznetsov L.N. Intensifikatsiya raboty mel'nic [Intensifikatsiya raboty mel'nic]. Novosibirsk: «Science». 1993, 240 p. (rus)
2. Aykhas K. Optimization of the grinding plant [Optimizatsiya raboty pomol'nyh ustanovok]. Bulletin of Cement and its application. 2015. No. 4. Pp. 32–36. (rus)
3. Yarkina T.V. Basics of Enterprise Economics: a short course [Osnovy ekonomiki predpriyatiya: kratkij kurs]. M.: Rossijskij gumanitarnyj internet-universitet (RGIU), 2005, 85 p. (rus)
4. Buyanova A.S., Devyataeva N.V. The use of energy-efficient and energy-saving technologies in the cement industry in Russia [Primenenie energoeffektivnyh i energosberegayushchih tekhnologij v cementnoj otrasli Rossii]. Bulletin actual problems of the humanities and natural sciences. 2014. No. 3-1. Pp. 161–164. (rus)
5. Duda V. Cement [Cement]. Moscow: Stroyizdat. 1981, 484 p. (rus)
6. Sinyakin A.G. Reducing the energy intensity of grinding cement through the use of additives intensifiers grinding SIKAGRIND [Snizhenie energoemkosti pomola cementa za schet ispol'zovaniya dobavok intensivatorov pomola SIKAGRIND]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2007. No. 4. Pp. 34–36. (rus)
7. Telichenko V.A., Sharapov R.Z., Skel' V.I., Harlamov E.V. Analysis of the effectiveness of the grinding process in ball mills closed loop [Analiz effektivnosti processa izmel'cheniya v sharovyh mel'nicah zamknutogo cikla]. Bulletin Mechanization of construction. 2016. Vol. 77. No. 11. Pp. 13–17. (rus)
8. Hal'bur M. Separators that will satisfy future demands [Separatory, kotorye povolyat udovletvorit' trebovaniya budushchego]. Bulletin of Cement and its application. 2015. No. 4. Pp. 52–54. (rus)
9. Mareshal' M.F. New high performance separator [Novyj vysokoeffektivnyj separator]. Bulletin of Cement and its application. 2017. No. 4. Pp. 100–101. (rus)
10. Rogachev S.P., Larin A.V. Advantages of using 4th generation separators for grinding line upgrades [Preimushchestva primeneniya separatorov 4-go pokoleniya pri modernizacii pomol'nyh linij]. Bulletin of Cement and its application. 2018. No. 3. Pp. 62–64. (rus)
11. Bogdanov V.S., Bogdanov D.V., Annenko D.M., Gerasimenko V.B., Pomazov D.A. Analysis of the effectiveness of grinding in a ball closed loop [Analiz effektivnosti izmel'cheniya v sharovyh zamknutogo cikla]. Mezhvuzovskij sbornik nauchnyj statej «Energosberegayushchie tekhnologicheskie komplekсы i oborudovaniya dlya proizvodstva stroitel'nyh materialov» Belgorod: BGТУ im. V.G. Shukhova, 2017. Pp. 20–27. (rus)
12. Tishakova I.S., Yur'eva M.V. Inclined intercameral partition [Naklonnaya mezhkamernaya perogorodka]. Bulletin Education, science, production.

Belgorod BSTU named after V.G. Shukhov, 2015. Pp. 1748–1750. (rus).

13. Tishakova I.S., Yur'eva M.V. Double inclined intercameral partition for pipe separator mill [Dvojnaya naklonnaya mezhkamernaya peregorodka dlya trubnoj separatornoj mel'nicy]. Bulletin Education, science, production. Belgorod BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. Pp. 1742–1747. (rus)

14. Nesmeyanov N.P., Kartygin A.V. Intrabeling devices and their influence on the grinding process of cement clinker [Vnutrimel'nichnye ustrojstva i ih vliyanie na process izmel'chenie cementnogo klinkera]. V sbornike Naukoemkie tekhnologii i innovacii: sb. nauch. trudov po itogam Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Belgorod BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. Pp. 115–118. (rus)

15. Tishakova I.S., Eremchenko S.M. Tube mill armor [Bronefuterovka trubnoj mel'nicy]. Bulletin Education, science, production. Belgorod BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. Pp. 1547–1550. (rus)

16. Bogdanov V.S., Hahalev P.A., Maslovskaya A.N. Technique of designing energy-exchange lining of ball drum mills [Metodika proektirovaniya energoobmennyyh futerovok sharovyh barabannyh mel'nic]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 1. Pp. 67–72. (rus)

17. Degtyarev P.A. Ball mill 2.6X5.75 m with various options for lining plates [Sharovaya mel'nica 2,6H5,75 m s razlichnymi variantami futerovochnyyh plit]. IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh studentov, aspirantov i uchenyyh. Sbornik dokladov v 4-h tomah. Belgorodskij tekhnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova. 2018. Pp. 27–29. (rus)

18. Porsev M.A. Modernization of the design of armored lining plates in ball mills [Modernizaciya konstrukcii bronefuterovochnyyh plit v sharovyh mel'nicah]. Bulletin of Cement and its application. 2013. No. 5. Pp. 44–47. (rus)

19. Smol'kov M.G. Three-section interchamber partition of a tube ball mill [Trehsekcionnaya mezhkamernaya peregorodka trubnoj sharovoj mel'nicy]. VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh studentov, aspirantov i uchenyyh. Sbornik dokladov v 3-h tomah. Belgorodskij tekhnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova. 2014. Pp. 276–279. (rus)

20. Porsev M.A., Chumanov I.V. On the issue of increasing the service life of inter-chamber partitions of cement mills [K voprosu o povyshenii resursa raboty mezhkamernyyh peregorodok cementnyh mel'nic]. Bulletin of Cement and its application. 2016. No. 6. Pp. 62–65. (rus)

21. Mamotov S.M., Mamotov D.I. Analysis of the design of an intraluminal device with an inclined partition [Analysis of the design of an intraluminal device with an inclined partition]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenyyh BGTU im. V.G. Shuhova. Belgorodskij tekhnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova. 2017. Pp. 2630–2634. (rus)

22. Deshko Yu.I., Krejmer M.B., Kryhtin G.S. Grinding materials in the cement industry [Izmel'chenie materialov v cementnoj promyshlennosti]. Moscow: Stroyizdat. 1966, 270 p. (rus)

23. Sergo E.E. Mineral crushing, grinding and screening [Droblenie, izmel'chenie i grohochenie poleznyh iskopaemyh]. Moscow: Nedra. 1985, 285 p. (rus)

24. Barbanyagre V.D., Stronin A.A. Influence on the clinker particle size distribution of the assortment of grinding media and grinding intensifier [Vliyanie na granulometricheskij sostav klinkera assortimenta melyushchih tel i intensifikatora pomola]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 1. Pp. 71–75. (rus)

25. Barbanyagre V.D., Stronin A.A. Investigation of the effect of the diameter of a large ball in the grinding load of an open-cycle mill on the dispersed characteristics of clinker [Issledovanie vliyaniya diametra krupnogo shara v melyushchej zagruzke mel'nicy otkrytogo cikla na dispersnye harakteristiki klinkera]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 5. Pp. 60–65. (rus)

26. Stronin A.A., Barbanyagre V.D. Comparison of the effectiveness of using different types of dense ball loading when grinding Portland cement clinker [Sravnenie effektivnosti ispol'zovaniya raznyh tipov plotnoj sharovoj zagruzki pri izmel'chenii portlandcementnogo klinkera]. Trudy II Mezhdunarodnoj nauch.-tekhn. konf. «Energeticheskie sistemy» (23 – 24 noyabrya 2017 g.). Belgorod: BGTU im. V.G. Shuhova, 2017. Pp. 554–558. (rus)

27. Barbanagre V.D. Drum Mill Ball Loading. Patent RF. no. 2010121271/13, 2013.

Information about the authors

Borisov, Ivan N. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Stronin, Alexandr A. Postgraduate student. E-mail: alexanderstronin@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Klassen, Victor K. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2019

Для цитирования:

Борисов И.Н., Стронин А.А., Классен В.К. Сравнение эффективности использования в мельнице открытого цикла двухшаровой мелющей загрузки по сравнению с традиционными ассортиментами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 12. С. 121–129. DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-121-129

For citation:

Borisov I.N., Stronin A.A., Klassen V.K. Advantage of recovery the double-ball grinding media in the second chamber of the mill open cycle in contrast to traditional assortment of grinding medias. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 12. Pp. 121–129. DOI: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-121-129