

# ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/article\_5d4d30eadca666.64629058

<sup>1</sup>Борисов И.Н., <sup>1,\*</sup>Стронин А.А., <sup>1</sup>Классен В.К.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

\*E-mail: alexanderstronin@yandex.ru

## ВЛИЯНИЕ ПУСТОТНОСТИ МЕЛЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ НА ДИСПЕРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛИНКЕРА

**Аннотация.** В настоящее время большинство цементных мельниц работает по замкнутому циклу, т.к. только установка сепаратора даже без существенной модернизации самой мельницы, позволяет увеличить ее производительность (примерно на 20 %) и значительно улучшить гранулометрический состав цемента, поэтому совершенствованию процесса сепарации отводится столь огромное значение, особенно за рубежом. Преимущество перевода мельницы на замкнутый цикл не ограничивается только лишь выше описанными положительными сторонами. Наличие сепаратора позволяет уменьшить средневзвешенный диаметр шара, снизить степень адгезии материала, предоставляет возможность регулирования тонкости помола цемента без изменения ассортимента мелющих тел. В результате усилия ученых направлены в сторону совершенствования конструкции сепараторов, при этом они, как правило, не уделяют должного внимания основным характеристикам мелющей загрузки, а корректируют их с учетом наличия системы сепарации. Многими учеными установлен тот факт, что оптимальная по составу и характеристикам мелющая загрузка, позволяет увеличить производительность шаровой мельницы на 10–20 % без снижения тонкости помола цемента. Перевод мельницы на замкнутый цикл при одновременном использовании рациональной мелющей загрузки, как в первой, так и во второй камере позволит добиться аддитивного эффекта увеличения энергоэффективности помольного агрегата. Авторами данной статьи уделяется особое внимание плотности упаковки мелющих тел во второй камере, т.к. увеличение значения данного показателя не всегда приводит к положительному эффекту. В статье на основании экспериментальных данных доказывается отсутствие однозначной зависимости между пустотностью мелющей загрузки при прочих равных условиях и величиной параметров, характеризующих тонкость помола.

**Ключевые слова:** шаровая мельница, измельчение клинкера, мелющая загрузка, гранулометрический состав, пустотность.

Основным помольным агрегатом для измельчения цемента является трубная шаровая мельница [1], получившая широкое распространение благодаря своим положительным качествам: высокой надежности работы, простоты конструкции и эксплуатации, высокой производительности [2]. Но наряду с этим мельница имеет и ряд существенных недостатков: значительный удельный расход электроэнергии, низкий КПД не более 5 % [3], невозможность регулирования тонкости помола цемента без изменения ассортимента мелющих тел, а также высокая степень агрегации материала во второй камере, не позволяющая получать цемент с удельной поверхностью 4000–5000 см<sup>2</sup>/г [4].

Измельчение материала в первой камере осуществляется в основном ударом, раздавливанием с частичным истиранием, а во второй наоборот – преимущественно истиранием [5]. В процессе истирания огромная доля работы измельчения преобразуется в другие формы энергии, не участвующие в процессе разрушения частиц размазываемого материала, это – тепло, звук, вибрация [6]. Наибольшая потеря полезной

энергии происходит во второй камере [7], поэтому здесь необходимо в большей степени, чем в первой камере создать энергоэффективную мелющую загрузку.

Одним из способов повышения эффективности работы шаровой мельницы является создание во второй камере двухшаровой загрузки, состоящей из мелкого и крупного шара (соотношение 1:3,5), эффективность использования которой представлена в ряде работ [8, 9]. Основное отличие такой компоновки шаров от традиционной заключается в увеличении плотности укладки, что в свою очередь способствует росту истирающего воздействия со стороны мелющих тел на частицы размазываемого материала. Чрезмерно плотная укладка шаров приведет к существенному снижению доли пустот, следовательно, уменьшится пропускная способность шаровой мельницы, поэтому необходимо перед началом проведения исследований определиться с оптимальным значением соотношения между массой мелющих тел и массой измельчаемого материала.

В настоящий момент не существует единого мнения о величине оптимального соотношения между массами мелющих тел и размалываемого материала. Ф. Дж. Мардулье в своей работе [10] рекомендует принимать значение этого соотношения в интервале 8,1 – 10,1, он считает, что при таком значении достигается максимальный выход поверхности цемента на единицу затрачиваемой энергии. В. Шерер считает, что  $m_{MT}/m_M$  должно равняться 8,75 [11]. В. Дернах отмечает, что для получения рядового цемента с удельной поверхностью около 3200 см<sup>2</sup>/г (по Блейну) с минимальными энергетическими затратами указанное соотношение должно быть на менее 15 [12], к такому же выводу приходит и Р. Лавланд [13]. В. Д. Барбанягрэ в работах [14, 15] доказывает, что оптимальным значением  $m_{MT}/m_M$  является 13,75. При определении количества измельчаемого в мельнице материала исходили из этого значения.

Изучение роли пустотности мелющей загрузки второй камеры изучали на примере клинкера ЗАО «Осколцемент» фракции -5+1,25 мм, который измельчали в лабораторной мельнице ГИПРОЦЕМ 0,5×0,56 м, объемом 10 л в отсутствии гипса. В целях устранения влияния первой камеры мельницы на результаты исследований, необходимо было использовать мелющую загрузку (МЗ), отличающуюся высокой энергоэффективностью. В качестве подобной загрузки было решено использовать плотную шаровую упаковку (ПШУ) [16]. Ассортимент мелющих

тел ПШУ во всех испытаниях был постоянен: Ø74/Ø54=2:1. Материал вначале измельчался в течение 10 мин в первой камере, затем из нее извлекались мелющие тела и загружалась исследуемая загрузка. По окончании процесса измельчения у продукта помола определяли гранулометрический состав на приборе ANALYSETTE 22 NanoTec plus.

Изучение влияния доли пустот в мелющей загрузке второй камеры на тонкость помола готового продукта рассматривали на примере ассортимента размольных тел, представленных в таблице 1. При этом доля пустот в загрузке была математически рассчитана для неподвижного положения мелющей загрузки по формулам, приведенным в работе [17].

Целью исследования было установление характера влияния объема пустот в двухшаровой МЗ второй камеры на дисперсные характеристики готового продукта. Для достижения этой цели необходимо было решить несколько задач:

- установить зависимость пустотности выбранного типа мелющей загрузки, а также дисперсных характеристик порошка готового продукта от диаметра крупного шара;
- на основании полученных данных сделать вывод о характере влияния пустотности МЗ на такие дисперсные характеристики измельченного клинкера, как удельная поверхность, полный остаток на сите №008, гранулометрический состав.

Таблица 1

#### Пустотность исследованных мелющих загрузок

Ассортимент мелющих тел второй камеры	Величина отношения массы мелющих тел к массе размалываемого материала $m_{MT}/m_M$	Отношение по массе крупного шара к мелкому $D_{кр} : d_{мел}$	Пустотность П, %
Ø74+ мелкий шар	13,75	1 : 3,5	36,9
Ø60+ мелкий шар			36,8
Ø54+ мелкий шар			36,7
Ø40+ мелкий шар			36,5
Ø25+ мелкий шар			30,0

Из таблицы 1 видно, что наиболее плотная укладка мелющих тел достигается путем добавления к мелким шарам крупных диаметром 25 мм (в данном случае П=30 %). Увеличение диаметра крупного шара до 40 мм сопровождается увеличением пустотности на 6,5 %. Наиболее рыхлая упаковка шаров наблюдается при использовании шаров размером 74 мм, в данном случае пустотность составляет примерно 37 %.

Влияние диаметра крупного шара на дисперсные характеристики размалываемого клинкера подробно изучено в работах [8, 9, 18], здесь же приводятся лишь экспериментальные данные, полученные в ходе проведения предыдущих

научных исследований (рис. 1 и 2, табл. 2). На основе данных табл. 2 были построены зависимости, характеризующие функциональную связь между содержанием основных фракций в порошке готового продукта и диаметром крупного шара, которые представлены на рис. 3. На этом рисунке в тех же координатах построен график, показывающий характер влияния диаметра крупного шара на пустотность мелющей загрузки.

Логично было предположить, что двухшаровая загрузка, содержащая крупные шары диаметром 25 мм и обладающая максимальной плотностью укладки шаров (табл. 1), должна иметь са-

мую высокую энергоэффективность, заключающуюся в высокой степени истирающего воздействия. Данное предположение было экспериментально подтверждено (рис. 1 и 2) высоким значением удельной поверхности 4120 см<sup>2</sup>/г и низким  $\sum R_{008}=0,6\%$ . Но помимо этого оказалось, что загрузка Ø60+ мелкий шар, почти идентична выше-рассмотренной, так  $S_{уд}=4190\text{ см}^2/\text{г}$  и  $\sum R_{008}=0,7\%$ . Различие заключается лишь во фракционном составе: фр. +30 мкм содержится в большем количестве (24,8 %) в мелющей загрузке с  $D_{кр}=60\text{ мм}$ , чем с  $D_{кр}=25\text{ мм}$  (19,8 %), остальные фракции имеют приблизительно равное содержание.

Из рис. 3 также видно, что, начиная с диаметра крупного шара равного 40 мм, значение пустотности МЗ не зависит от величины его диаметра (при данном соотношении шаров) и остается постоянным на уровне 36 %. Тем не менее с

ростом  $D_{кр}$  дисперсные характеристики продолжают изменяться произвольным образом. Интересно отметить, что значения параметров, характеризующих тонкость помола клинкера на загрузке Ø54+ мелкий шар, сильно отличаются от значений тех же параметров у клинкеров, размолотых на других рассмотренных загрузках. В первом случае по завершению процесса помола клинкер имеет самое высокое значение полного остатка на контрольном сите 3,4 % и самую низкую удельную поверхность 3600 см<sup>2</sup>/г. При рассмотрении гранулометрического состава наблюдается обратное соотношение. Наличие во второй камере мельницы наряду с мелкими шарами крупных диаметром 54 мм, позволяет получить продукт помола с малым содержанием фракции +30 мкм около 8 % и высоким содержанием фракции -5+30 мкм примерно 72 %.

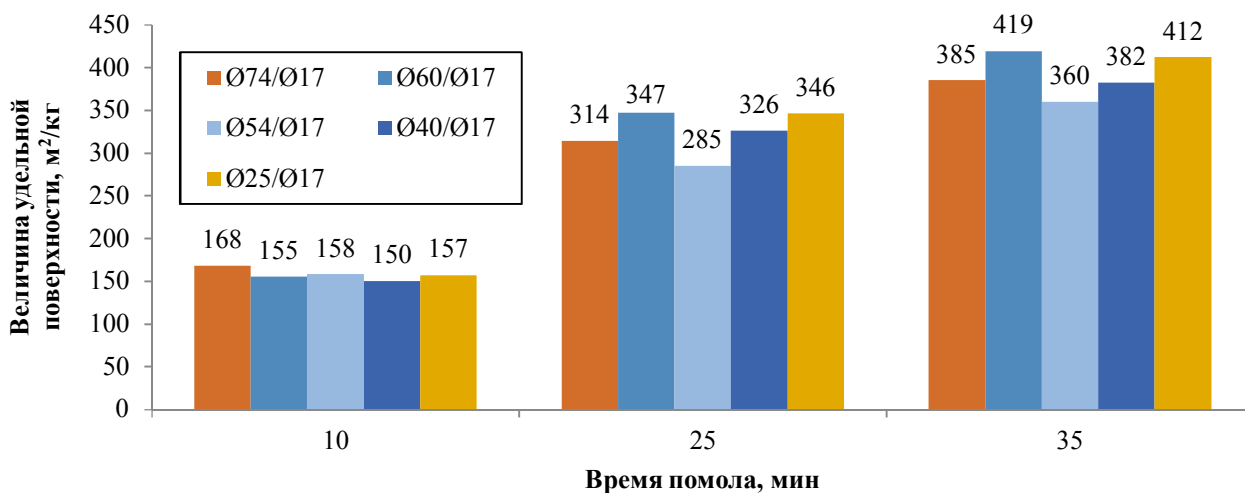


Рис. 1. Влияние диаметра крупного шара в мелющей загрузке на величину удельной поверхности

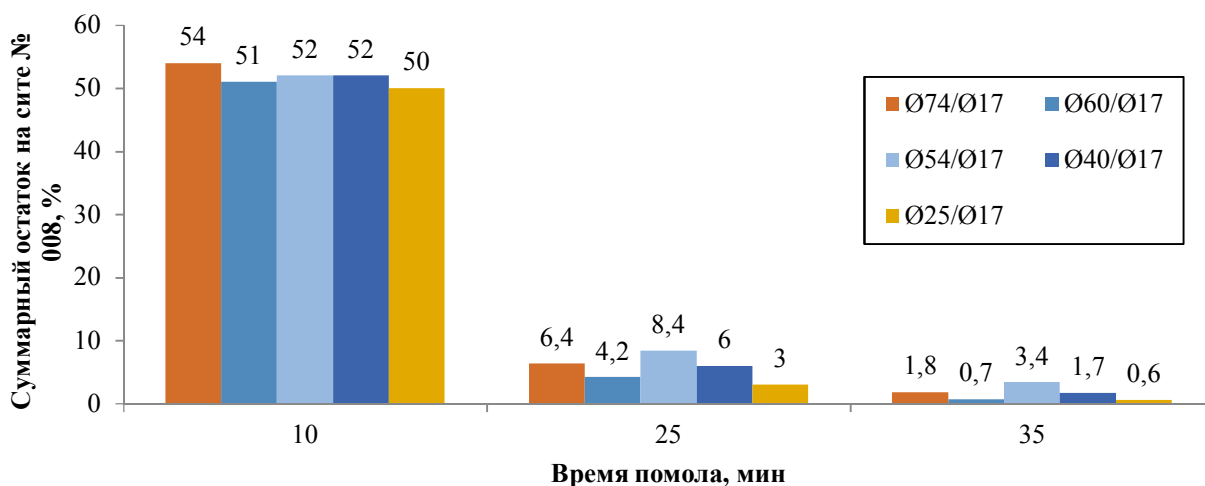


Рис. 2. Влияние диаметра крупного шара в мелющей загрузке на величину суммарного остатка на сите №008

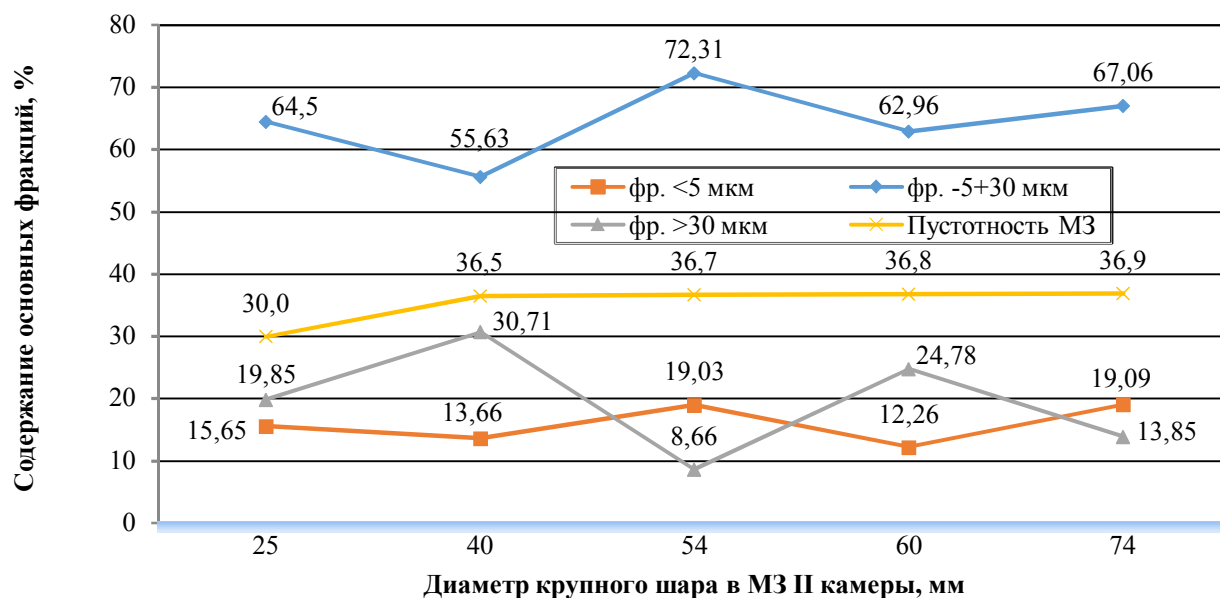


Рис. 3. Влияние диаметра крупного шара на пустотность МЗ и на содержание основных фракций в порошке готового продукта

Подобная зависимость наблюдается при рассмотрении такого параметра фракционного состава как характеристический размер частиц. В

данном случае загрузка Ø54+ мелкий шар позволяет получить продукт помолы с минимальным значением характеристического размера равного 15 мкм.

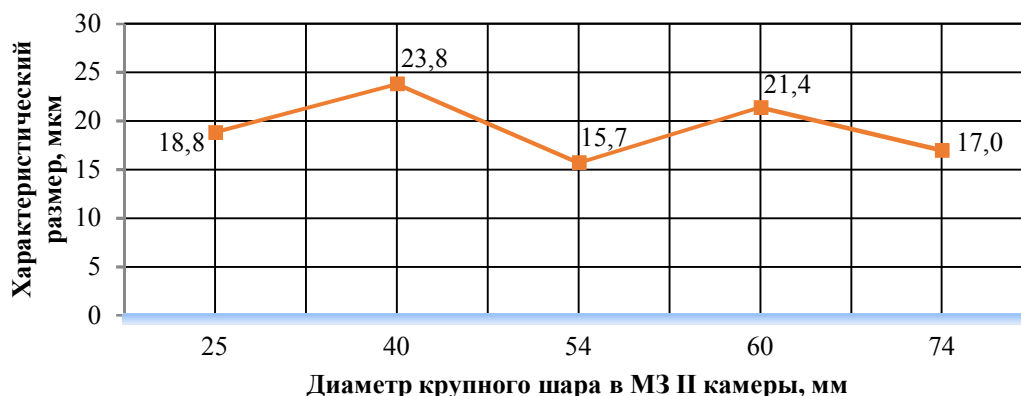


Рис. 3. Зависимость характеристического размера от величины диаметра крупного шара в МЗ

Таблица 2

**Гранулометрический состав продукта измельчения после 35 мин помолы**

Ассортимент мелющих тел II камеры	Содерж. фр. <5 мкм, %	Содерж. фр. 5 – 30 мкм, %	Содерж. фр. >30 мкм, %	Характеристический размер d', мкм
Ø74 + мелкий шар	19,09	71,2	9,71	17,0
Ø60 + мелкий шар	14,1	66,15	19,75	21,4
Ø54 + мелкий шар	21,4	73,52	5,08	15,7
Ø40 + мелкий шар	15,47	58,35	26,18	23,8
Ø25 + мелкий шар	18,16	66,68	15,16	18,8

По результатам фракционного анализа следует, что мелющая загрузка Ø40+ мелкий шар обладает наихудшей результативностью, т.к. содержание частиц, размер которых лежит в интервале 5–30 мкм составляет 55 %, а содержание частиц размером более 30 мкм – 30 %, при этом порошок измельченного клинкера имеет самое высокое значение показателя d=23 мкм.

После проведенных научных исследований можно сформулировать следующие выводы:

– наиболее плотная укладка мелющих тел (Π=30 %) во второй камере достигается путем добавления к мелким шарам крупных диаметром 25 мм, при замене их на мелющие тела диаметром 74 мм происходит увеличение пустотности на 7 %. Использование мелющих шаров оставшихся

размеров приводит к реализации мелющей загрузки с одинаковой пустотностью равной 36 %;

– установлено неоднозначное влияние величины пустот в мелющей загрузке на дисперсные характеристики. Все исследованные в рамках данной работы мелющие загрузки можно разбить на несколько пар: Ø25+ мелкий шар, Ø60+ мелкий шар и Ø54+ мелкий шар, Ø74+ мелкий шар. Каждая мелющая загрузка из пары способствует получению продукта помола, который в обоих случаях имеет примерно равные значения параметров, характеризующих тонкость помола и гранулометрический состав, несмотря на разницу в объеме пустот. В первом случае разница составляет 6,8 %, а во втором – 0,2 %;

– наименьшей результативностью обладает мелющая загрузка, содержащая крупные шары диаметром 40 мм и имеющая пустотность 36,5 %, в данном случае измельченный клинкер имеет самые худшие значения показателей дисперсных характеристик.

Таким образом, отсутствие однозначной зависимости между пустотностью двухшаровой мелющей загрузки и дисперсными характеристиками продукта помола, приводит к необходимости проведения дополнительных исследований с целью выяснения факторов, которые в совокупности с рассматриваемым параметром однозначно определяют значения этих показателей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуда В. Цемент. М.: Стройиздат, 1981. 484 с.
2. Крыхтин Г.С., Кузнецов Л.Н. Интенсификация работы мельниц. Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. 240 с.
3. Богданов В.С. Шаровые барабанные мельницы: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 258 с.
4. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: Учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 285 с.
5. Барбанягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Физико-технические основы измельчения материалов в трубных мельницах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №4. С.1 82–185.
6. Дешко Ю.И., Креймер М.Б., Крыхтин Г.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. М.: Стройиздат, 1966. 270 с.
7. 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, 2016. С. 115–118.
8. 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.
9. 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.
10. Mardulier F.J. Balance – Key to Mill / Separator Operations, IV. Annual Cement Industry Operations, Seminar, Chicago, 1978. Pp. 66–78.
11. Scherer W. Antriebsprobleme bei Schwerkraftmühlen. Bulletin of Zement-Kalk-Gips Publ. 1984. No. 7. Pp. 394–396.
12. Dersnah W.R. Ball coating and grinding aids. Portland Cement Association, Report MP-80, Chicago Illinois Publ, 1986. Pp. 17–20.
13. Loveland R.A. Relation of ball load be clinker charge in grinding mills. Rock Products Publ, 1982. No. 10. Pp. 96–102.
14. Барбанягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Интенсификация тонкого измельчения материалов в шаровых трубных мельницах // Научно-техническая конференция РФФИ: Сб. докл. регион. конф. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 20–27.
15. Барбанягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Интенсификация и моделирование процессов измельчения материала в шаровых трубных мельницах применительно к промышленным агрегатам // Цемент и его применение. 2016. №2. С. 94–100.
16. Барбанягрэ В.Д., Матвеев А.Ф., Смаль Д.В., Москвичев Д.С. Эффективная плотная шаровая загрузка и лифтерно-желобчатая бронифутеровка трубной мельницы // Труды юбилейной международной науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Научные технологии и инновации» (9 – 10 октября 2014 г.). Белгород: БГТУ, 2014. С. 30–35.
17. Шарапов Р.Р. Шаровые мельницы замкнутого цикла. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 270 с.
18. 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.

*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 стекла и керамики. E-mail: alexanderstronin@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Класен 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 мае 2019 г.*

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

<sup>1</sup>*Borisov I.N., <sup>1</sup>\*Stronin A.A., <sup>1</sup>Klassen V.K.*

<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova  
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

*\*E-mail: alexanderstronin@yandex.ru*

## INFLUENCE OF POROUSNESS OF GRINDING MEDIA OF A BALL DRUM ON DISPERSE CHARACTERISTICS OF CLINKER

**Abstract.** *Currently, most cement mills operate in a closed circuit. Installing a separator without a significant modernization of the mill allows to increase its productivity (by about 20 %) and improve the grain size distribution of the cement; therefore the improvement of the separation process, especially abroad, is of great importance. The advantage of converting a mill to a closed circuit is not limited to the above described positive sides. The separator allows to reduce the weighted average diameter of the ball and the degree of adhesion of the material, provides the ability to control the fineness of cement without changing the range of grinding bodies. As a result, the efforts of scientists are directed towards improving the design of separators, while they usually do not pay enough attention to the main characteristics of the grinding load and adjust them considering the presence of separation system. Many scientists have established the fact that the optimal composition and characteristics of the grinding load can increase the productivity of the ball mill by 10–20 % without reducing the fineness of the cement grinding. Switching the mill to a closed circuit while using a rational grinding load, both in the first and in the second chamber will achieve an additive effect of increasing the energy efficiency of the grinding unit. The authors of this article pay special attention to the packing density of grinding media in the second chamber, because the increase in the value of this indicator does not always lead to a positive effect. On the basis of experimental data, the article proves the absence of an unambiguous relationship between the porousness of the grinding load under equal conditions and the value of the parameters characterizing the fineness of grinding.*

**Keywords:** *ball drum, clinker grinding, grinding media, particle size distribution, porousness.*

### REFERENCES

1. Duda V. Cement [Cement]. Moscow: Stroyizdat, 1981. 484 p. (rus)
2. Krykhtin G.S., Kuznetsov L.N. Intensification of work of mills [Intensifikaciya raboty mel'nic]. Novosibirsk: «Science», 1993. 240 p. (rus)
3. Bogdanov V.S. Ball drum mills [Sharovye barabannye mel'nicy]. Belgorod: BelGTASM, 2002. 258 p. (rus)
4. Sergo E.E. Crushing, grinding and screening of minerals [Droblenie, izmel'chenie i grohochenie poleznyh iskopaemyh]. Moscow: «Nedra», 1985. 285 p. (rus)
5. Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichev D.S. Physical and technical basis of grinding materials in tube mills [Fiziko-tekhnichekije osnovy izmel'cheniya materialov v trubnyh mel'nicah]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 182–185. (rus)
6. Deshko Yu.I., Kreimer M.V., Krykhtin G.S. Grinding materials in the cement industry [Izmel'chenie materialov v cementnoj promyshlennosti]. Moscow: Stroyizdat, 1966. 270 p. (rus)
7. 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]. Naukoemkie tekhnologii i innovacii. Sbornik dokladov. Belgorodskij gosudarstvennyj

tehnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova. 2016. Pp. 115–118. (rus)

8. Barbanyagre V.D., Stronin A.A. Influence on the particle size distribution of clinker in the assortment of grinding bodies 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)

9. Barbanyagre V.D., Stronin A.A. Study of the influence of the diameter of a large ball in the grinding load of an open-cycle mill on the dispersion 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)

10. Mardulier F.J. Balance – Key to Mill. Separator Operations, IV. Annual Cement Industry Operations, Seminar, Chicago, 1978. Pp. 66–78.

11. Scherer W. Antriebsprobleme bei Schwerkraftmühlen. Bulletin of Zement-Kalk-Gips Publ. 1984. No. 7. Pp. 394–396.

12. Dersnah W.R. Ball coating and grinding aids. Portland Cement Association, Report MP-80, Chicago Illinois Publ, 1986. Pp. 17–20.

13. Loveland R.A. Relation of ball load to clinker charge in grinding mills. Rock Products Publ, 1982. No. 10. Pp. 96–102.

14. Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichev D.S. Intensification of fine grinding of materials in ball tube mills [Intensifikaciya tonkogo izmel'cheniya materialov v sharovyh trubnyh mel'nicah]. Nauchno-tehnicheskaya konfer-

enciya Rossijskogo fonda fundamental'nyh issledovaniy. Sbornik dokladov. Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova, 2015. Pp. 20–27. (rus)

15. Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichev D.S. Intensification and modeling of processes of material grinding in ball tube mills with reference to industrial aggregates [Intensifikaciya i modelirovanie processov izmel'cheniya materiala v sharovyh trubnyh mel'nicah primenitel'no k promyshlennym agregatam]. Bulletin of Cement and its application. 2016. No. 2. Pp. 94–100. (rus)

16. Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichev D.S. Effective dense ball loading and lift-grooved hunch plate tube mill [Effektivnaya plotnaya sharovaya zagruzka i liftnozhelobchataya bronefuterovka trubnoj mel'nicy]. Naukoemkie tehnologii i innovacii. Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova, 2014. Pp. 30–35. (rus)

17. Sharapov R.R. Ball mills of a closed cycle [Sharovye mel'nicy zamknutogo cikla]. Belgorod: BGTU, 2008. 270 p. (rus)

18. Stronin A.A., Barbanyagre V.D. Comparison of the efficiency 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]. II Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya «Energeticheskie sistemy». Belgorodskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet imeni V.G. Shuhova, 2017. Pp. 554–558. (rus)

#### *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, Viktor K.** DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received in May 2019*

#### **Для цитирования:**

Борисов И.Н., Стронин А.А., Классен В.К. Влияние пустотности мелющей загрузки шаровой мельницы на дисперсные характеристики клинкера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 99–105.

#### **For citation:**

Borisov I.N., Stronin A.A., Klassen V.K. Influence of porousness of grinding media of a ball drum on disperse characteristics of clinker. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 99–105.