

Богданов В. С., д-р техн. наук, проф.;
Федин Ю. М., канд. техн. наук, проф.;
Латышев С. С., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУБНОЙ МЕЛЬНИЦЫ, ОСНАЩЕННОЙ ВНУТРИМЕЛЬНИЧНЫМ КЛАССИФИЦИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

lat.sergej@gmail.com

В статье представлена методика определения производительности трубной мельницы оснащенной внутримельничным устройством. Рассмотрены основные эффекты влияния устройства на процесс измельчения в помольном агрегате.

Ключевые слова: цемент, помол, трубная мельница, рецикл, классификация, внутримельничное устройство, радиальный лифтер, движение.

Не смотря на появление новых строительных материалов одним из основных является цемент. В последнее время объемы его производства и потребления растут.

2012 год для цементной промышленности России стал рекордным. Впервые за 20 лет годовой объем производства цемента превысил отметку в 60 млн. т. Прирост объемов производства по сравнению с 2011 г. составил 10 % [1].



Рис. 1. Объемы производства цемента в России в 2007-2012 гг.

Кроме этого в июне, июле и августе 2013 г поставлен еще один рекорд, впервые ежемесячные объемы производства превысил отметку 7 млн. т. За первое полугодие 2013 г прирост объемов производства цемента по сравнению с аналогичным периодом 2012 г уже составил 7,2 %.

Однако наращивание объемов производства отстает от роста потребностей внутреннего рынка, что в первую очередь связано с состоянием производственных мощностей. По различным оценкам износ активной части основных фондов на большинстве предприятий превысил 70 %. В эксплуатации находится оборудование со сроком службы более 30 лет. В такой ситуации конечная стоимость цемента является высокой, что приводит к увеличению его импорта

Себестоимость составляет порядка 50-60 % от конечной цены российского цемента, наибольшую долю занимают энергозатраты, в том числе затраты на измельчение клинкера и добавок. Традиционно на этом перееделе технологического процесса используются трубные мельницы, которые зарекомендовали себя как высокопроизводительный и надежный агрегат. Основным недостатком трубных мельниц является высокое энергопотребление при низком коэффициенте полезного действия.

В работах [2, 3, 4] рассмотрены предложения по повышению эффективности измельчения материалов в трубных шаровых мельницах за счет разрушения застойных зон и интенсификации движения мелющих тел с помощью внутримельничных энергообменных устройств.

Повысить эффективность работы агрегата можно также с помощью внутримельничного устройства, которое позволяет организовать внутри камеры помола рецикл измельчаемого материала, его классификацию и вывод готовых частиц из зоны измельчения. В ходе промышленных испытаний данного устройства на ЗАО «Белгородский цемент» получены результаты, которые позволили эксперименталь-

$$Q = 5,05 \cdot D_{\Pi}^{2,5} \cdot L_{\Pi} \cdot \psi \cdot \varphi^{0,8} \cdot \gamma_{\text{MT}} \cdot b \cdot K_{\text{ТП}} \cdot K_A, \quad (\text{кВт}), \quad (1)$$

где D_{Π} , L_{Π} – полезные диаметр и длина барабана мельницы, м; ψ – относительная частота вращения барабана мельницы; φ – коэффициент заполнения барабана мельницы мелющими телами и материалом; γ_{MT} – насыпная плотность мелющих тел, т/м³; b – удельная производительность мельницы, т/кВт·ч; $K_{\text{ТП}}$ – поправочный коэффициент на тонкость помола; K_A – коэффициент аспирации.

Изменение производительности трубной мельницы, оборудованной внутримельничным устройством связано с рядом причин. Одной из них является увеличение среднего времени пребывания материала в зоне измельчения, что приводит к повышению его тонкости помола. При заданном качестве продукта это позволяет повысить производительность.

Эффект от увеличения среднего времени пребывания материала в зоне измельчения учтём с помощью переходного коэффициента тонкости помола.

Изменение среднего времени измельчения материала рассчитывается согласно выражения:

$$\Delta t_{\text{CP}} = \frac{\sum_{j=1}^z (L_y - l_j)}{v_{\text{CP}} \cdot z} \cdot k_Q, \quad (2)$$

где L_y – длина внутримельничного устройства, м; l_j – расстояния от торца внутримельничного устройства обращенного к разгрузочной решетке до осей лифтеров, м; v_{CP} – средняя скорость движения материала в камере помола, м/с; z – количество лифтеров внутримельничного устройства; k_Q – коэффициент характеризующий отношение расхода материала через внутримельничное устройство к его расходу через мельницу.

В соответствии с уравнением С.Е. Андреев [7], описывающим содержание крупного класса в зависимости от продолжительности размолла, изменении остатка на сите №008 связанное с влиянием внутримельничного устройства определим с помощью выражения:

но подтвердить полученные математические зависимости для определения производительности трубной мельницы оснащенной внутримельничным устройством [5].

Для определения производительности трубной мельницы оборудованной внутримельничным устройством было выбрано уравнение, которое в В.З. Пироцкий своей работе [6] рекомендует использовать на практике:

$$\Delta R = R_{\text{ТРЕБ}} \cdot 10^{-k \cdot \Delta t_{\text{CP}}^m}, \quad (3)$$

где $R_{\text{ТРЕБ}}$ – требуемое в соответствии с регламентом содержание крупного класса в готовом продукте мельницы, %;

k – параметр, характеризующий относительную скорость измельчения;

m – параметр, характеризующий изменение относительной скорости измельчения.

Параметр k и m рассчитываются по формулам:

$$k = \frac{\lg(R_1 / R_2)}{t_{1-2}^m}; \quad (4)$$

$$m = \frac{\ln\left(\frac{\lg(100 / R_2)}{\lg(100 / R_1)}\right)}{\lg(t_2 / t_1)} = \frac{\lg\left(\frac{\ln(100 / R_2)}{\ln(100 / R_1)}\right)}{\ln(t_2 / t_1)}. \quad (5)$$

Тогда поправочный коэффициент на тонкость помола с учетом влияния внутримельничного устройства определяется выражением:

$$K'_{\text{ТП}} = \left(0,434 \cdot \ln \frac{R_0}{R_{\text{ТРЕБ}} + \Delta R}\right)^{-1/m}, \quad (6)$$

где R_0 – содержание фракции +0,080 мкм в исходном продукте, %.

Поправочный коэффициент тонкости помола изменяется при изменении коэффициента загрузки мельницы, так как в таком случае изменяется «классическая» производительность трубной мельницы, а следовательно изменяется коэффициент k_Q , что приводит к изменению среднего времени пребывания материала в мельнице.

Немаловажной причиной изменения производительности является увеличение доли материала, выносимого из трубной мельницы с потоками аспирационного воздуха. Это связано с дополнительным байпасом материала из полости трубошнека. При высыпании загрузки из лифтеров в полость трубошнека происходит интенсивное «продувание» ее потоками аспирационного воздуха, пылеунос происходит также и с загрузки, движущейся по тракту трубошнека внутримельничного устройства.

Для того чтобы учесть воздействие этого эффекта на производительность трубной мельницы воспользуемся корректировкой коэффициента аспирации в формуле (1.21).

Классический коэффициент аспирации является эмпирическим и выбирается в зависимости от скорости аспирационных потоков в барабане трубной мельницы. Он учитывает прирост производительности за счет выноса материала потоками аспирационного воздуха.

Учитывая, что в полости трубошнека внутримельничного устройства «продуванию» подвергается только K_Q -ая часть расхода материала через мельницу, а также, что эффективность аспирации в внутримельничного устройства выше в 1,4–1,6 раза получаем выражение коэффициента аспирации для трубной мельницы оборудованной внутримельничным устройством:

$$K_{АВКУ} = K_A + (K_A - 1) \cdot k_Q \cdot 1.5, \quad (7)$$

где K_A – классический коэффициент аспирации.

Однако воздействие внутримельничного устройства на производительность трубной мельницы не ограничивается положительными моментами. Существует граничное значение коэффициента загрузки φ_r камеры тонкого помола, при котором происходит контакт мелющих тел и трубошнека внутримельничного устройства. Очевидно, что при более высоких коэффициентах загрузки в контакт вступает большая часть мелющих тел вследствие чего резко снижается их способность измельчать.

Основной процесс измельчения, при каскадных режимах работы загрузки осуществляется в ее скатывающихся слоях. Согласно методике определения контуров поднимающихся и скатывающихся слоев при каскадном режиме представленной Д.К.Крюковым [8] в сечении соответствующем углу поворота загрузки относительно вертикали ширина потока скатывающихся слоев равна половине высоты сегмента загрузки, т.е. основная работа по измельчению совершается потоком, характеризующимся шириной $0,5H$, где H – высота сегмента загрузки.

Ширину потока контактирующего с трубошнеком внутримельничного устройства можно определить вычитанием из высоты сегмента загрузки разницы между внутренним радиусом барабана мельницы и внешним радиусом трубошнека.

Анализ данных, полученных при исследовании кинематики загрузки в трубной мельнице на модели мельницы с прозрачным дном показывает, что уровень величины высоты сегмента

загрузки при работе мельницы увеличивается на 12 – 17 % в зависимости от коэффициента заполнения. Этот факт необходимо учесть при определении ширины потока мелющих тел контактирующих с трубошнеком внутримельничного устройства путем увеличения высоты сегмента загрузки на 15 %.

Необходимо также учесть, что контакт происходит по длине мельницы соответствующей длине трубошнека внутримельничного устройства, т.е. падение эффективности измельчения происходит пропорционально отношению длины трубошнека к длине камеры помола.

Учтем отрицательный эффект воздействия внутримельничного устройства в формуле (1.21) с помощью коэффициента эффективности:

$$K_{эф} = 1 - \frac{H \cdot 1,15 - \frac{D_{II} - D_{ВКУ}}{2}}{H \cdot 1,15} \cdot \frac{L_{ВКУ}}{L_{II}}. \quad (8)$$

После преобразований получаем:

$$K_{эф} = 1 - \left(2 - \frac{D_{II} - D_{ВКУ}}{H \cdot 1,15} \right) \cdot \frac{L_{ВКУ}}{L_{II}}. \quad (9)$$

Высоту сегмента загрузки для $0,12 < \varphi < 0,88$ с достаточной для инженерных расчетов точностью можно определить выражением [6]:

$$H = 1,68 \cdot (\varphi + 0,1) \cdot \frac{D_{II}}{2}. \quad (10)$$

С учетом (2.87) выражение (2.85) принимает вид:

$$K_{эф} = 1 - \left(2 - \frac{D_{II} - D_{ВКУ}}{1,68 \cdot (\varphi + 0,1) \cdot \frac{D_{II}}{2} \cdot 1,15} \right) \cdot \frac{L_{ВКУ}}{L_{II}}. \quad (11)$$

На рисунке 22 представлено сопоставление результатов расчета трубной мельницы $\varnothing 3 \times 14$ м, оборудованной внутримельничного устройства без учета его воздействия (классический вариант), с учетом воздействия внутримельничного устройства (разработанная методика) и экспериментальные данные, полученные на ЗАО «Белгородский цемент».

Кривая характеризующая зависимость Q от φ в соответствии с разработанной методикой носит экстремальный характер. Функция достигает максимума при $\varphi = 0,23$. Это значение является граничным, т.е. определяет наименьший коэффициент загрузки камеры помола, при котором между трубошнеком внутримельничного устройства и мелющими телами наблюдается контакт. С увеличением φ более 0,23 доля загрузки вступающей в контакт с трубошнеком внутримельничного устройства увеличивается, что приводит к снижению эффективности из-

мельчения. Вследствие этого наблюдается падение производительности, а при $\varphi \approx 0,29$ ее величина становится равной производительности определяемой по «классической» методике.

Из графиков видно, что предложенная методика расчета производительности позволяет учесть влияние внутримельничного устройства на процесс измельчения в помольном агрегате и дает оценку производительности агрегата более эффективно, чем классическая методика.

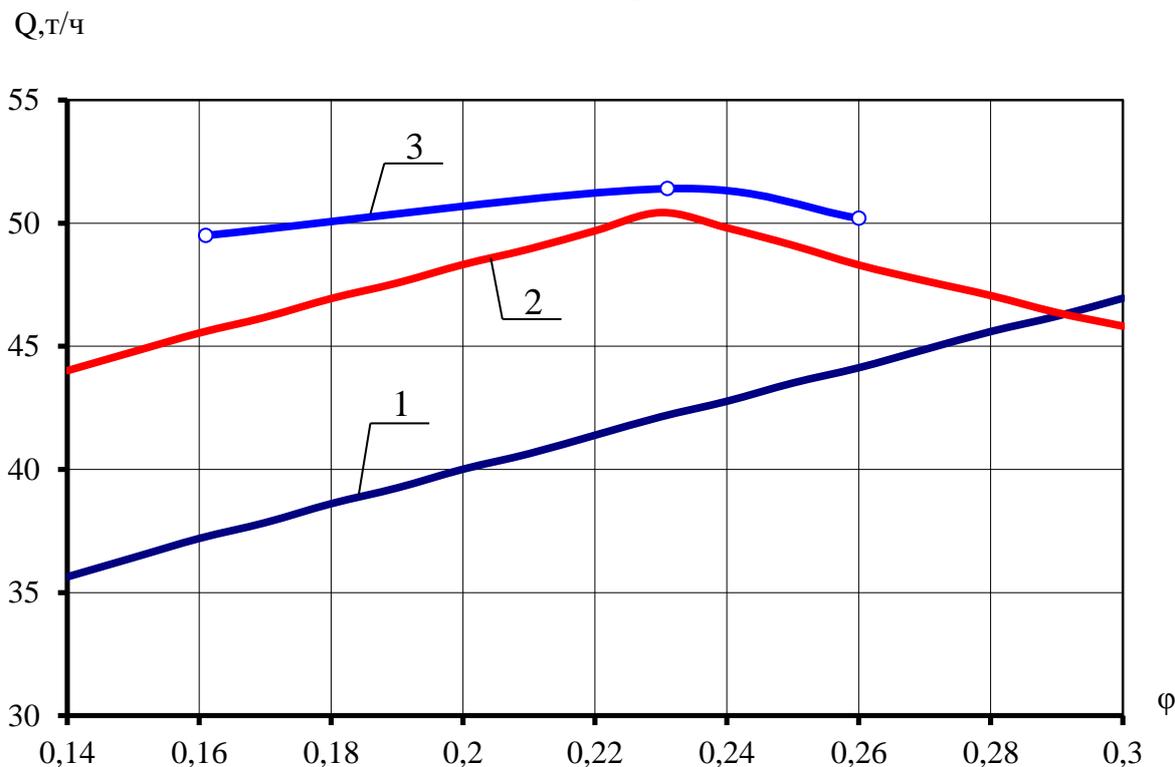


Рис. 2. Графики зависимости производительности Q от коэффициента загрузки φ :
1 – данные расчета по классической методике; 2 – данные расчета по предложенной методике;
3 – данные, полученные в ходе проведения промышленного эксперимента

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российский рынок цемента 2013 г. [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://alto-group.ru/aswf/007/files/assets/downloads/publication.pdf> (дата обращения: 10.10.2013)
2. Богданов В.С., Ханин С.И. Определение основных параметров процесса мокрого измельчения сырьевых материалов в трубной мельнице // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №1. С. 87-90.
3. Богданов В. С. Энергообменное устройство для шаровых барабанных мельниц // Стекло и керамика. 1985. № 6. С. 19-21.
4. Фадин Ю.М. Расчёт энергии передаваемой шароматериальной загрузке наклонной перегородкой в трубной шаровой мельнице // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. №4. С.62-64.
5. Повышение эффективности работы трубных мельниц открытого цикла измельчения / В.С.Богданов, Ю.М. Фадин, С.С.Латышев, Д.В. Богданов, О.Р. Соловьев // Цемент и его применение. 2005. №1. С.49-53.
6. Андреев С.Е. Товаров В.В., Перов В.А. Закономерности измельчения и исчисление характеристик гранулометрического состава.– М.: Металлургиздат, 1959. 427 с.
7. Пироцкий В.З. Цементные мельницы: технологическая оптимизация.– СПб.: Издательство Центра профессионального обновления «Информатизация образования», 1999. 145 с.
8. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц.– М.: Машиностроение, 1965. 184 с.