

# ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ШАРОВЫХ ТРУБНЫХ МЕЛЬНИЦАХ

---

*doc\_cdv@mail.ru*

**Барбанягрэ В.Д., д-р техн. наук, проф.,**

**Матвеев А.Ф., канд. техн. наук, проф.,**

**Смаль Д.В., канд. техн. наук, доц.,**

**Москвичев Д.С., науч. сотр.**

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

**Аннотация.** Использованием отношения массы мелющих тел к массе размалываемого материала в лабораторных условиях изучены процессы измельчения материалов в шаровой трубной мельнице. Установлена возможность интенсификации процесса измельчения в результате применения максимально плотной шаровой загрузки, которая обеспечивает более высокоэнергетичный помол материала за счет наличия двух факторов: импульса истирающего действия (ИИД) и импульса ударного сжатия (ИУС). В опытно-промышленных испытаниях достигнуто повышение производительности мельницы на 15-20%. Определен модуль перехода от производительности лабораторной мельницы ГИПРОЦЕМЕНТа к производительности основных типов заводских агрегатов.

**Ключевые слова:** моделирование, производительность, трубная мельница, плотная мелющая загрузка, шары, помол, интенсификация, импульс истирания, импульс ударного сжатия.

Многочисленные лабораторные исследования по интенсификации процессов измельчения клинкера практически не находят применения в заводских условиях, в связи с этим рассмотрена возможность моделирования процессов измельчения в заводских мельницах на основе измельчения материалов в стандартной двухкамерной лабораторной мельнице Гипроцемента (Ø 0,5×0,56 м), которой оснащены лаборатории всех цементных заводов. За основу моделирования приняты четыре показателя, названные нами модулями, которые охватывают главные аспекты процесса помола в шаровых трубных мельницах [1-10]:

1. Размерный модуль ( $M_p$ ) как отношение объемов заводской и лабораторной мельниц ( $V_{зм}/V_{лм}$ );

2. Модуль интенсивности ( $M_i$ ) как отношение числа оборотов в минуту заводской и лабораторной мельниц ( $n_{зм}/n_{лм}$ );

3. Модуль динамический ( $M_d$ ) как отношение высот падения шаров или (диаметров мельниц) в водопадном режиме заводской и лабораторной мельниц соответственно ( $n_{зм}/n_{лм}$ );

4. Модуль кинетический ( $M_k$ ) как отношение линейных скоростей отрыва шаров от поверхности барабана в верхней точке мельниц заводской и лабораторной соответственно.

Необходимо привести некоторые пояснения по формированию модулей. Модуль интенсивности определяет соотношение количества импульсов ударного сжатия (ИУС) заводской и лабораторной мельниц соответственно за одну минуту, но так как число ИУСов обоих мельниц за один оборот одинаково, то отношение ИУСов за одну минуту равно отношению числа оборотов в минуту. При формировании динамического модуля ( $M_d$ ) высоты падения шаров были приняты равными диаметрам мельниц, так как множитель  $\cos \alpha$  обоих мельниц одинаков и при вычислении модуля  $M_d$  сокращается.

Физический смысл введенного кинетического модуля ( $M_k$ ) содержит определенную долю научной новизны, т.к. наличие скорости отрыва шаров от барабана мельницы под суммарным действием центробежной силы и силы тяжести и последующее движение шаров по параболе, свидетельствуют о происходящем при этом истирании материала, находящегося между поверхностью барабана мельницы и прилегающим к ней контактному слою шаров. Этот процесс в научно-технической литературе в подобном аспекте не рассматривался.

Произведение четырех рассмотренных модулей определяет величину общего модуля ( $M_o$ ), который является коэффициентом пропорциональности между производительностью лабораторной мельницы Гипроцемента и производительностью заводских мельниц  $G_{зм} = M_o * q_{лм}$ . Удельная производительность лабораторной стандартной мельницы Гипроцемента ( $q_{лм}$ ) определяется по следующим показателям: масса загрузки шаров одной камеры 55 кг, ассортимент шаров в загрузке: Ø73 мм – 9 шаров×1,6 кг=14,4 кг; Ø53 мм – 8 шаров×0,61 кг=4,88 кг; Ø40 мм – 24 кг; Ø17 мм – 12 кг.

Размалывается фракция клинкера 10 - 0 мм, в т.ч. мелкой фракции (1-3 мм) не более 200 г. Время помола 40 минут. Тонкость помола клинкера: R02=0,8 %, R008=7,6 %, Суд.=357 м<sup>2</sup>/кг. Численная величина  $q_{лм}$  составляет:

$$q_{\text{лм}} = m_{\text{м}} \cdot 60 / \tau = 4 \cdot 60 / 40 = 6 \text{ кг/ч.}$$

$m_{\text{м}}$  - масса размолотого материала, кг;

$\tau$  – время помола, мин.

Параметры, необходимые для моделирования и полученные результаты приведены в таблице. Удовлетворительная сходимость значений производительности заводских мельниц, полученная предлагаемым методом моделирования с их паспортной производительностью и средними значениями производительности, полученными длительной эксплуатацией в производственных условиях, свидетельствует о том, что использованные параметры моделирования адекватны процессам измельчения, протекающим в шаровых трубных мельницах, а принятые при этом допущения приемлемы.

После соответствующего апробирования в заводских условиях рассмотренный метод моделирования производительности трубных мельниц может стать удобным и быстрым способом контроля размолоспособности клинкера и оптимизации режима помола цемента.

Таблица

### Моделирование производительности цементных мельниц

Мельницы, №	Параметры заводских мельниц						Модельные отношения функциональных технологических факторов: заводская/лабораторная мельница					Производительность заводских цементных мельниц, по данным моделирования, $Q_{зм} = Q_{л} \cdot M_o$ , т/ч	Паспортная производительность заводских мельниц, т/ч
	Наружный диаметр мельницы, $d_{в,з}$ м, Длина мельницы $L_z$ , м	Внутренний диаметр мельниц, $d_{в,л}$ м	Полезная длина мельницы, $L_{пв}$ м	Внутренний объем мельницы, $V_{в}$ , м <sup>3</sup>	Частота вращения мельницы, $n$ , об/мин.	Линейная скорость мелющих тел в точке отрыва от внутр. поверхности барабана мельницы, $v_{л,з}$ , м/мин	Размерный модуль: соотношение объемов $M_p = V_{зм} / V_{лм}$	Модуль интенсивности. Соотношение импульсов ударного сжатия, $M_i = n_{зм} / n_{лм}$ , обор/мин	Динамический модуль как отношение высот падения мелющих тел пропорционально диаметрам, $M_d = d_z / d_l$	Кинетический модуль, как отношение линейных скоростей мелющих тел при отрыве от пов-ти барабана мельницы: $V_z / V_l = d_z \cdot n_z / d_l \cdot n_l$	Общий модуль, $M_o = \frac{V_{зм}}{V_{лм}} \cdot \frac{n_{зм}}{n_{лм}} \cdot \frac{d_{зм}}{d_{лм}} \cdot \left( \frac{n_{зм} \cdot d_{зм}}{n_{лм} \cdot d_{лм}} \right)$		
1	2,2×13	2,05	12,7	41,9	23,2	149,34	820	0,48	4,1	1,98	$3,2 \cdot 10^3$	18,5	16
2	2,6×13	2,45	12,9	60,8	19,5	158,0	1105	0,40	4,9	2,0	$4,33 \cdot 10^3$	26,0	25
3	3,0×14	2,85	13,8	88,0	17,6	157,5	1600	0,37	5,7	2,1	$7,10 \cdot 10^3$	42,4	38
4	3,2×15	3,05	14,8	108,0	16,94	162,2	1965	0,35	6,1	2,15	$9,0 \cdot 10^3$	54,0	49
5	4,0×13,5	3,52	13,25	151,8	16,2	179,0	2745	0,34	7,64	2,38	$16,97 \cdot 10^3$	101,8	89
6	Лаб. мел-ца	0,5	0,28*	0,055*	48	75,36	Удельная производительность $q_{л} = 6$ кг/ч						

\*- для одной камеры;  $M_p$ -размерный модуль:  $V_z / V_l$ ;  $M_i$ -модуль интенсивности:  $n_z / n_l$ ;  $M_d$ -динамический модуль:  $d_z / d_l$ ;  $M_k$ -кинетический модуль:  $d_z \cdot n_z / d_l \cdot n_l$ ;  $M_o$ -общий модуль:  $M_o = M_p \cdot M_i \cdot M_d \cdot M_k$ .  $_{лм}$  – определяется экспериментально в заводской лаборатории в течение одного часа.

## Результаты работы.

1. Предпринят новый подход к исследованию процесса измельчения материала в трубных мельницах, в основу которого положено применение не энергетических показателей процесса, как это общепринято в научно-технической литературе, а отношения масс взаимодействующих ингредиентов – мелющих тел и размалываемого материала.

2. Предложен механизм воздействия совокупности шаров мелющей загрузки на размалываемый материал в водопадном режиме в виде двух импульсов:

- импульса истирающего действия (ИИД), количественно равного кинетической энергии шаров в верхней точке отрыва от поверхности барабана ( $ИИД = m \cdot V$ );

- импульса ударного сжатия (ИУСа), возникающего в момент максимального контакта в нижней точке соприкосновения шаров с цилиндрической поверхностью барабана мельницы, равного отношению масс  $m_{мт}/m_{рм}$ .

3. Предложен способ повышения удельной энергии мелющей загрузки – применением плотной упаковки шаров, которая усиливает в 2 раза массу мелющих тел.

4. Для практического применения предложенных приемов интенсификации процессов измельчения разработан способ определения производительности заводских цементных мельниц по удельной производительности лабораторной стандартной мельницы Гипроцемента ( $\varnothing 0,5 \times 0,56$  м) и по общему модулю заводской мельницы ( $M_{озм}$ ), величина которого определялась с использованием предложенных импульсов истирающего и ударного действия мелющей загрузки на размалываемый материал  $G_{зм} = M_{озм} \times q_{лм}$ .

Общий модуль представляется произведением четырех частных модулей:

1) Размерного модуля ( $M_p$ ) как отношение объемов заводской и лабораторной мельниц ( $V_{зм}/V_{лм}$ );

2) Модуля интенсивности ( $M_{и}$ ) как отношение числа оборотов в минуту заводской и лабораторной мельниц ( $n_{зм}/n_{лм}$ );

3) Модуля динамического ( $M_d$ ) как отношение высот падения шаров или (отношения диаметров мельниц) в водопадном режиме заводской и лабораторной мельниц соответственно ( $n_{зм}/n_{лм}$ );

4) Модуль кинетический ( $M_k$ ) как отношение линейных скоростей отрыва шаров от поверхности барабана в верхней точке барабана мельниц заводской и лабораторной соответственно.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08029 «р\_офи\_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.*

#### **Список литературы:**

1. Крыхтин Г.С., Кузнецов Л.Н. Интенсификация работы мельниц. Новосибирск: ВО «Наука», 1993. 240 с.
2. Пироцкий В.З. Цементные мельницы: технологическая оптимизация. С.-Пб.: Изд. Центра профессионального обновления, 1999. 145 с.
3. Дешко Ю.И., Креймер М.Б., Крыхтин П.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. М.: Изд. литературы по строительству, 1966. 270 с.
4. Капалнец Е.Г. Взаимосвязь работы мелющих тел и футеровочных плит шаровых мельниц // Цемент и его применение. 2010. № 3. С. 80–81.
5. Пат. № 2477659 Российская Федерация, МКП В 02 С 17/20 В.Д. Барбаниягрэ. Шаровая загрузка барабанной мельницы БГТУ им. В.Г. Шухова № 2010121271, заявл. 25.05.10; опубл. 20.03.13.
6. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Стройиздат, 1972. 240 с.
7. Барбаниягрэ В.Д., Смаль Д.В. Плотнейшая шаровая загрузка трубной мельницы и ее эффективность // ИнформЦемент. 2011. № 2(32). С. 49–56.
8. Андреев С.Е., Товаров В.В., Перов В.А., Закономерности измельчения и исчисления характеристики гранулометрического состава. М.: Metallurgizdat, 1959. 437 с.
9. Бажанова О.И., Богданов В.С., Шаптала В.Г. Моделирование температурно-влажностного режима цементной мельницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 91-95.
10. Севостьянов В.С., Михайличенко С.А., Ильина Т.Н., Маркидин А.А., Сиваченко Т.Л. Способы совершенствования измельчителей ударного действия на основе многостержневых рабочих органов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 87-90.