

Барбаныгрэ 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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗАВОДСКИХ ШАРОВЫХ ТРУБНЫХ МЕЛЬНИЦ*

xtsm@intbel.ru

Разработан способ моделирования процесса измельчения и определения производительности заводских шаровых трубных мельниц с использованием лабораторной мельницы Гипроцемента и применением модульных характеристик, описывающих процесс измельчения в мельницах.

Ключевые слова: соотношение, основные параметры, лабораторная, заводская мельница.

Многочисленные лабораторные исследования по интенсификации процессов измельчения клинкера практически не находят применения в заводских условиях, в связи с чем рассмотрена возможность моделирования процессов измельчения материалов в стандартной двухкамерной лабораторной мельнице Гипроцемента ($\emptyset 0,5 \times 0,56$ 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 [1–6]:

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

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

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

4. Модуль кинетический ($M_{к}$) 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 ($M_{д}$) высоты падения шаров были приняты равными диаметрам мельниц, так как множитель $\cos \alpha$ обоих мельниц одинаков и при вычислении модуля $M_{д}$ сокращается.

Физический смысл введенного кинетического модуля ($M_{к}$) содержит определенную до-

лю 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 контактными слоями шаров. Этот процесс в научно-технической литературе в подобном аспекте не рассматривался.

Произведение четырех рассмотренных модулей определяет величину общего модуля (M_0), который является коэффициентом пропорциональности между производительностью лабораторной мельницы Гипроцемента и производительностью заводских мельниц ($G_{зм}$): $G_{зм} = M_{0,зм} \times q_{лм}$. Удельная производительность лабораторной стандартной мельницы Гипроцемента ($q_{лм}$) определяется по следующим показателям: масса загрузки шаров одной камеры 55 кг, ассортимент шаров в загрузке:

$\emptyset 73$ мм – 9 шаров $\times 1,6$ кг = 14,4 кг;

$\emptyset 53$ мм – 8 шаров $\times 0,61$ кг = 4,88 кг;

$\emptyset 40$ мм – 24 кг;

$\emptyset 17$ 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: $R_{02} = 0,8$ %, $R_{008} = 7,6$ %, $S_{уд.} = 357$ м²/кг. Численная величина $q_{лм}$ составляет:

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

m_m – масса размолотого материала, кг;

τ – время помола, мин.

Параметры, необходимые для моделирования и полученные результаты приведены в таблице 1. 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 и улучшения размолоспособности клинкера при обжиге и оптимизации режима помола цемента.

Основные результаты и выводы.

1. Для практического применения предложенных приемов интенсификации процессов измельчения разработан способ определения производительности заводских цементных мельниц по удельной производительности лабораторной стандартной мельницы Гипроцемента (Ø 0,5×0,56 м) и по общему модулю заводской мельницы (M_{о.з.м.}), который представляется произведением четырех частных модулей:

1) Размерного модуля (M_р) как отношение объемов заводской и лабораторной мельниц (V_{з.м.}/V_{л.м.});

2) Модуля интенсивности (M_и) как отношение числа оборотов в минуту заводской и лабораторной мельниц (n_{з.м.}/n_{л.м.});

3) Модуля динамического (M_д) как отношение высот падения шаров или (отношения диаметров мельниц) в водопадном режиме заводской и лабораторной мельниц соответственно (n_{з.м.}/n_{л.м.});

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

5) Производительность заводской мельницы равна:

Таблица 1

Параметры заводских мельниц

Мельницы, №	Наружный диаметр мельницы, d _{н.з.} , м, Длина мельницы L, м	Внутренний диаметр мельниц, d _{в.з.} , м	Полезная длина мельницы, L _{пз.} , м	Внутренний объем мельницы, V _{в.} , м ³	Частота вращения мельницы, n _{з.} , об/мин.	Линейная скорость мелющих тел в точке отрыва от внутр. поверхности барабана мельницы, v _{д.з.} , м/мин
1	2,2×13	2,05	12,7	41,9	23,2	149,34
2	2,6×13	2,45	12,9	60,8	19,5	158,0
3	3,0×14	2,85	13,8	88,0	17,6	157,5
4	3,2×15	3,05	14,8	108,0	16,94	162,2
5	4,0×13,5	3,52	13,25	151,8	16,2	179,0
6	Лаб. мел-ца	0,5	0,28*	0,055*	48	75,36

* - для одной камеры.

Таблица 2

Модельные отношения параметров: заводская/лабораторная мельница

Размерный модуль: соотношение объемов M _р =V _{з.м.} /V _{л.м.}	Модуль интенсивности. Соотношение импульсов ударного сжатия, M _и =n _{з.м.} /n _{л.м.} , обор/мин	Динамический модуль как отношение высот падения мелющих тел пропорционально диаметрам, M _д =d _{н.} /d _{л.}	Кинетический модуль, как отношение линейных скоростей мелющих тел при отрыве от пов-ти барабана мельницы: V _{з.} /V _{л.} = d _{з.} ·n _{з.} /d _{л.} ·n _{л.}	Общий модуль: M _о $M_o = \frac{V_{з.м.} \cdot n_{з.м.} \cdot d_{н.з.}}{V_{л.м.} \cdot n_{л.м.} \cdot d_{н.л.}}$	Производительность заводских цементных мельниц, по данным моделирования, Q _{з.м.} =q _{д.} ·M _о , т/ч	Паспортная производительность заводских мельниц, т/ч
820	0,48	4,1	1,98	3,2·10 ³	18,5	16
1105	0,40	4,9	2,0	4,33·10 ³	26,0	25
1600	0,37	5,7	2,1	7,10·10 ³	42,4	38
1965	0,35	6,1	2,15	9,0·10 ³	54,0	49
2745	0,34	7,64	2,38	16,97·10 ³	101,8	89
Удельная производительность q _{д.} =6 кг/ч						

$$G_{зм} = M_{о.зм} \cdot q_{лм}, \text{ где: } M_{о.зм} = M_p \cdot M_n \cdot M_d \cdot M_k,$$

$q_{лм}$ – определяется экспериментально в заводской лаборатории в течение одного часа.

**Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № НК 14-41-08029 p_офи_м.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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-во Центра профессионального обновления, 1999. 145 с.

3. Андреев С.Е., Товаров В.В., Перов В.А., Закономерности измельчения и исчисления ха-

рактеристики гранулометрического состава. М.: Metallurgizdat, 1959. 437 с.

4. Бажанова О.И., Богданов В.С., Шаптала В.Г. Моделирование температуро-влажностного режима цементной мельницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 91–95.

5. 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.

6. Дешко Ю.И., Креймер М.Б., Крыхтин П.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. М.: Изд-во литературы по строительству, 1966. 270 с.

Barbanyagre V.D., Matveev A.F., Smal D.V., Moskvichyov D.S.

MODELING OF PROCESSES FOR ASSESSMENT PRODUCTIVITY OF FACTORY BALL MILL

A method for simulating the grinding process and determine the performance of the factory ball tube mills using a laboratory mill Giprotsement and application of the modular characteristics, describing the process of grinding mills was developed.

Key words: ratio, basic parameters, laboratory, factory mill.

Барбаниягрэ Владимир Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, кафедры технологии цемента и композиционных материалов.

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

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

E-mail: xtsm@intbel.ru.

Матвеев Александр Фролович, кандидат технических наук, профессор, кафедры технологии цемента и композиционных материалов.

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

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

E-mail: xtsm@intbel.ru.

Смаль Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, кафедры технологии цемента и композиционных материалов.

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

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

E-mail: xtsm@intbel.ru.

Москвичев Дмитрий Сергеевич, научный сотрудник, кафедры технологии цемента и композиционных материалов.

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

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

E-mail: xtsm@intbel.ru.