

УДК 621.926

ОПЫТНЫЙ РАЗМОЛ БУРОГО УГЛЯ В СТЕНДОВОЙ СРЕДНЕХОДНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

ШУВАЛОВ С.И., д-р техн. наук, МИХЕЕВ Г.Г., канд. техн. наук

Представлены результаты расчетно-экспериментального исследования измельчения влажного бурого угля в среднеходной валковой мельнице, а также результаты исследования кинетики измельчения угля на размольном столе мельницы. Предложена математическая модель формирования дисперсных составов и массопотоков материала в вентилируемой валковой мельнице с сепаратором, описывающая процессы разрушения крупных частиц, агломерацию более мелких частиц, классификацию частиц в надразмольном пространстве и основном сепараторе. Проведена оценка влияния влажности угля, типов размольных валков и эффективности разделения сепаратора на производительность мельницы.

Ключевые слова: система пылеприготовления, размольные агрегаты, интенсивность размола, математическая модель, процесс агломерации угольных частиц.

EXPERIMENTAL BROWN COAL GRINDING IN BOWL MILL

S.I. SHUVALOV, Ph.D., G.G. MIKHEEV, Ph.D.

The work represents the results of experiment-calculated research of damp brown coal grinding in bowl mill, and the results of kinetic research of coal grinding on mill grindability table as well. The authors suggest the mathematical model for dispersed makeup and substance mass flow compiling in ventilated roller with separator. This model describes the processes of big particles grinding, agglomeration of smaller particles, particle classification in upper grindability place and in the main separator. There was carried out the evaluation of damp coal influence, grindability bowl types and separator division effectiveness over mill productivity.

Key words: coal-preparation system, grindability apparatus, grinding intensity, mathematical model, carbonic particle agglomeration process.

Наиболее экономичными и компактными размольными агрегатами, используемыми в системах пылеприготовления тепловых электрических станций, являются среднеходные валковые мельницы. Они хорошо приспособлены для измельчения каменных углей большинства марок, однако малопригодны для размола антрацитов и бурых углей некоторых марок. Наибольшие проблемы возникают при размоле влажных углей, когда мелкие осколки под воздействием сжимающих усилий спрессовываются в относительно прочный сплошной слой, покрывающий размольный стол и валки мельницы.

Для оценки влияния влажности угля на условия размола в валковой среднеходной мельнице и выбора наиболее пригодной конструкции отдельных узлов пылесистемы на стендовой установке ИГЭУ [1] был проведен опытный размол бурого угля березовского месторождения при изменении его влажности от воздушно-сухого состояния ($w^p = 12\%$) до предельной влажности $w^p = 31\%$.

В первой серии опытов проводилось исследование кинетики измельчения угля на размольном столе. До начала опытов с мельницы был снят сепаратор пыли и демонтирован сопловой аппарат. Исходный материал подавался на размольный стол по центральной точке, проходил под валками и собирался в бункере провала. В опытах использовался уголь (табл. 1) после дробилки и отсева на сите 6,3 мм.

Таблица 1. Дисперсные составы опытных партий углей

δ , мкм	Полные остатки R , %	
	уголь после дробилки	отсев на сите 6,3 мм
7000	11,6	0
5000	13,9	5
2500	37,8	38
1600	51,7	56
710	70	72,1
400	77,5	80
200	85,5	85
90	91,3	93
0	100	100

ОАО «Тяжмаш» оснащает среднеходные мельницы коническими валками, ведущие в этой отрасли фирмы «Бабкок» и «Леше» устанавливают тороидальные валки. Для оценки влияния формы валков опыты на стендовой мельнице проводились с обоими типами валков.

Интегральной характеристикой интенсивности размола является кратность измельчения k_n , представляющая собой отношение медианных размеров материалов до и после нагружения.

Анализ зависимости этого параметра от влажности угля, поступающего в мельницу (рис. 1), показывает, что при влажности угля $w^p = 12-25\%$ более высокую интенсивность измельчения обеспечивают тороидальные валки, при более высокой влажности их преимущество быстро убывает, а при влажности выше 30% предпочтительны конические валки.

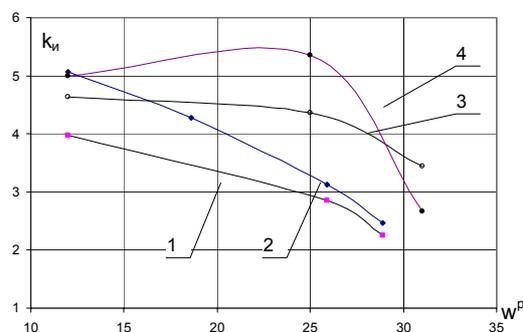


Рис. 1. Влияние влажности угля на кратность измельчения: 1 – конические валки, дробленка; 2 – тороидальные валки, дробленка; 3 – конические валки, отсев; 4 – тороидальные валки, отсев

Присутствие в исходном материале даже небольшого количества относительно крупных частиц заметно ухудшает интенсивность размола. Отсев из дробленого угля 10% частиц круп-

нее 6,3 мм (рис. 1, кривые 3 и 4) существенно повышает кратность измельчения во всем диапазоне изменения влажности угля.

Оценка интенсивности измельчения по кратности K_i является достаточно грубой. Она очень чувствительна к погрешностям дисперсного анализа и не учитывает изменение структуры дисперсного состава. Вместе с тем было замечено, что после прохождения через мельницу угля с влажностью 31 % содержание в продуктах размола частиц мельче 90 мкм стало ниже, чем в исходном материале. Этот результат свидетельствует о том, что наряду с разрушением частиц исходного материала на рабочем столе происходит объединение мелких частиц в более крупные агломераты. Кроме того, при влажности угля выше 25 % на размольном столе с тороидальными валками начинают появляться пластинчатые наслоения, укрупняющиеся со временем до 20–25 мм. Эти наслоения обладают малой механической прочностью и при ситовом анализе разрушаются, однако при сушке угля в промышленной мельнице такие образования могут упрочниться и вызвать серьезные затруднения в работе мельницы. При размоле влажного угля коническими валками таких наслоений не наблюдалось.

Для более детального исследования процесса формирования дисперсного состава на рабочем столе мельницы и влияния особенностей размола влажных углей на производительность пылесистемы была разработана математическая модель среднеходной мельницы и проведено численное моделирование процесса.

В теплоэнергетике принято дисперсный состав пыли описывать с помощью кривой полных остатков $R(\delta)$, определяющей процентное содержание в полидисперсной смеси частиц крупнее размера δ . Для полных остатков выполняются граничные условия $R(\delta_{\max}) = 0$, $R(\delta_{\min}) = 100\%$.

Здесь δ_{\max} , δ_{\min} – максимальный и минимальный размер частиц в смеси. Обычно принимают $\delta_{\min} = 0$.

Для описания процессов измельчения и классификации более удобно пользоваться плотностью распределения частиц по размерам $f(\delta)$, которая связана с полными остатками соотношениями

$$R(\delta) = 100 \int_{\delta}^{\delta_{\max}} f(\xi) d\xi, \quad f(\delta) = -\frac{1}{100} \frac{dR(\delta)}{d\delta}.$$

При этом из условия нормировки следует

$$\int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} f(\xi) d\xi = 1.$$

Наиболее часто кинетику измельчения описывают с помощью селективной и распределительной функций [2]:

$$\frac{\partial f(\delta)}{\partial t} = -S(\delta)f(\delta) + \int_{\delta}^{\delta_{\max}} S(\xi) \frac{\partial B(\xi, \delta)}{\partial \delta} f(\xi) d\xi. \quad (1)$$

Селективная функция $S(\delta)$ определяет интенсивность разрушения частиц размером δ в единицу времени или в течение одного цикла нагружения. Распределительная функция $B(\delta, \xi)$ соответствует доле продуктов разрушения частиц начальным размером δ , оказавшихся после разрушения мельче размера ξ . Для этих функций должны выполняться следующие соотношения:

$$\begin{cases} S(\delta) \geq 0, \quad S(0) = 0; \\ B(\delta, \xi_1) \leq B(\delta, \xi_2) \quad \text{при} \quad \xi_1 > \xi_2; \\ B(\delta, \delta) = 0; \quad B(\delta, 0) = 1. \end{cases} \quad (2)$$

Формула (1) предполагает, что при нагружении более крупные частицы разрушаются с образованием более мелких осколков, при этом полные остатки на всех размерах уменьшаются. Для учета возможности укрупнения мелких частиц аналогично (1) введем селективную функцию агломерации $A(\delta)$, определяющую интенсивность образования новых агломератов с участием частиц размером δ , и распределительную функцию агломерации $H(\delta, \xi)$ [3], значения которой равны весовой доле частиц классов интервала размеров $[\delta, \delta+d\delta]$, перешедших во вновь образованные агломераты размером крупнее ξ . Очевидно, что должны выполняться следующие соотношения:

$$\begin{cases} A(\delta) \geq 0, \\ H(\delta, \xi_1) \geq H(\delta, \xi_2) \quad \text{при} \quad \xi_1 < \xi_2, \\ H(\delta, \delta) = 1, \quad H(\delta, \delta_{\max}) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Пусть в начальный момент времени $t = 0$ дисперсный состав размалываемого материала соответствует плотности распределения $f_0(\delta)$. За период времени dt из класса частиц размера $[\delta, \delta+d\delta]$ вследствие разрушения и агломерации уйдет материал в количестве $f_0(\delta)[S(\delta) + A(\delta)]d\delta dt$. В этот же класс за счет осколков от разрушения более крупных частиц попадет материал в количестве

$$\int_{\delta}^{\delta_{\max}} S(\xi) \frac{\partial B(\xi, \delta)}{\partial \delta} f_0(\xi) d\xi dt.$$

Также в этот класс перейдут агломераты из более мелких частиц в количестве $-\int_{\delta_{\min}}^{\delta} A(\xi) \frac{\partial H(\xi, \delta)}{\partial \delta} f_0(\xi) d\xi dt$. Знак « \leftarrow »

вызван тем, что производная $\frac{\partial H(\xi, \delta)}{\partial \delta}$ отрицательна. Окончательно уравнение измельчения и агломерации примет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(\delta)}{\partial t} = & -[S(\delta) + A(\delta)]f_0(\delta) + \int_{\delta}^{\delta_{\max}} S(\xi) \frac{\partial B(\xi, \delta)}{\partial \delta} f_0(\xi) d\xi + \\ & + \int_{\delta_{\min}}^{\delta} A(\xi) \frac{\partial H(\xi, \delta)}{\partial \delta} f_0(\xi) d\xi. \end{aligned} \quad (4)$$

Распределительная функция измельчения $B(\delta, \xi)$ определяет долю осколков размером менее ξ , образовавшихся после разрушения частицы размером δ . Результаты наших исследований [4–6] показали, что при достаточном энергоподводе происходит хрупкое разрушение частиц с равномерным распределением продуктов разрушения по размерам. Это соответствует линейному распределению, которое может быть представлено зависимостью

$$B(\delta, \xi) = \frac{\xi}{\delta}. \quad (5)$$

Такое распределение наблюдается при измельчении различных материалов в шаровых

барабанных, вибрационных и струйных мельницах, когда одиночные частицы разрушаются стесненным или свободным ударом. Вместе с тем механизм раздавливания частиц в слое на столе валковой мельницы вносит определенную специфику в формирование дисперсного состава измельчаемого материала. Если в мельницах другого типа подведенная при ударе к частице энергия оказывается большей, чем требуется для хрупкого разрушения, то ее излишек расходуется в основном на увеличение кинетической энергии образующихся осколков. В валковой мельнице этот путь диссипации избытка энергии крайне ограничен. Образующиеся после первичного разрушения частицы осколки не могут быстро уйти из-под валков и при избытке энергии повторно подвергаются нагружению.

Для учета этого явления было введено понятие эквивалентного нагружения [5], подразумевающего серию последовательных циклов измельчения всех частиц при фактическом одном нагружении. Этот подход позволяет достаточно хорошо согласовать результаты расчета и эксперимента для диапазона размеров, в котором сосредоточена основная масса измельчаемых частиц.

Селективная функция измельчения $S(\delta)$ определяет интенсивность разрушения частиц размером δ в единицу времени или за цикл нагружения. При численном интегрировании значение $S(\delta_i)$ означает долю материала, перешедшего из интервала размеров $[\delta_i, \delta_{i+1}]$ в более мелкие интервалы.

Наиболее часто селективную функцию аппроксимируют степенной зависимостью

$$S(\delta) = \alpha \delta^\beta, \quad (6)$$

где параметры α и β подбираются таким образом, чтобы было обеспечено наилучшее согласование между расчетными и экспериментальными характеристиками дисперсного состава измельчаемого материала. При этом параметр α определяет интенсивность измельчения всей массы материала, а β задает соотношение в интенсивности измельчения частиц различной крупности.

В шаровых барабанных и вибрационных мельницах интенсивность измельчения частиц определенного размера зависит от конструкции и режима работы мельницы и от прочностных свойств материала. В валковых мельницах в качестве определяющего фактора дополнительно должен быть введен некоторый параметр, характеризующий доленое содержание частиц других классов крупности. Согласно [7], в (6) введем коэффициент

$$k_f(\delta) = \left(\frac{\delta}{\delta_m} \right)^\gamma, \quad (7)$$

где δ_m – медианный размер полидисперсной смеси на размольном столе; γ – параметр, определяемый из эксперимента.

Тогда выражение для селективной функции будет иметь вид

$$S(\delta) = \alpha \delta^\beta \left(\frac{\delta}{\delta_m} \right)^\gamma. \quad (8)$$

Процесс агломерации угольных частиц изучен в значительно меньшей степени, чем их разрушение. По аналогии с (7) будем считать, что интенсивность агломерации частиц размером δ определяется выражением

$$A(\delta) = \mu \delta^\omega, \quad (9)$$

где μ и ω – коэффициенты, зависящие от свойств материала и условий измельчения.

Поскольку процесс образования агломератов связан с взаимодействием поверхностей частиц, то предположим, что частицы размером δ переходят в более крупные классы пропорционально суммарной поверхности частиц этих классов. В этом случае распределительная функция $H(\delta, \lambda)$, определяющая долю частиц начальным размером δ , переходящих в агломераты крупнее λ , должна иметь вид

$$H(\delta, \lambda) = \frac{\int_{\lambda}^{\delta_{\max}} \frac{f(\xi)}{\xi} d\xi}{\int_{\delta}^{\delta_{\max}} \frac{f(\xi)}{\xi} d\xi}. \quad (10)$$

Уравнение (4) требует численного решения. Разделим весь диапазон изменения размеров на n классов таким образом, чтобы $\delta_1 = \delta_{\min}$, $\delta_{n+1} = \delta_{\max}$. Представим непрерывный процесс размола в виде последовательных циклов с периодом Δt . Уравнение (4) примет вид

$$f_i(\delta_i) = f_0(\delta_i) [1 - (S(\delta_i) + A(\delta_i)) \Delta t] + \Delta t \sum_{k=1}^{i-1} S(\delta_k) b_{ki} f_0(\delta_k) + \Delta t \sum_{k=i+1}^n A(\delta_k) h_{ki} f_0(\delta_k). \quad (11)$$

Здесь коэффициенты b_{ki} определяют долю образующихся осколков размером $[\delta_i, \delta_{i+1}]$ при измельчении частиц размером $[\delta_k, \delta_{k+1}]$; h_{ki} определяют долю частиц, перешедших при агломерации из диапазона $[\delta_k, \delta_{k+1}]$ в диапазон $[\delta_i, \delta_{i+1}]$.

При описании дисперсных составов в виде набора n узких фракций будем считать, что характерным размером i -й фракции является среднее арифметическое границ интервала фракции:

$$\bar{\delta}_i = \frac{\delta_i + \delta_{i+1}}{2}. \quad (12)$$

Выражение (8) принимает вид

$$S(\delta) = \alpha \delta^\beta \left(\frac{\bar{\delta}_i}{\delta_m} \right)^\gamma. \quad (13)$$

Коэффициенты b_{ki} , определяющие долю осколков, перешедших при разрушении из k -й в i -ю фракцию, могут быть представлены как

$$b_{ki} = \frac{\delta_i - \delta_{i+1}}{\delta_{k+1} - \delta_{n+1}}. \quad (14)$$

Коэффициенты h_{ki} равны

$$h_{ki} = \frac{\frac{f_0(\delta_k)}{\bar{\delta}_k}}{\sum_{i=1}^{i-1} \frac{f_0(\delta_i)}{\bar{\delta}_i}}. \quad (15)$$

Уравнение (12) принимает вид

$$f_1(\delta_i) = f_0(\delta_i) \left[1 - \left(\alpha \bar{\delta}_i^\beta \left(\frac{\bar{\delta}_i}{\delta_m} \right)^\gamma + \mu \bar{\delta}_i^\omega \right) \Delta t \right] + \Delta t \left[\sum_{s=1}^{i-1} \alpha \bar{\delta}_s^\beta \left(\frac{\bar{\delta}_s}{\delta_m} \right)^\gamma \frac{\delta_i - \delta_{i+1}}{\delta_{s+1} - \delta_{n+1}} f_0(\delta_s) \right] + \Delta t \mu \left[\frac{f_0(\delta_i)}{\bar{\delta}_i} \sum_{s=i+1}^n \bar{\delta}_s^\omega f_0(\delta_s) \frac{1}{\sum_{k=1}^s f_0(\delta_k)} \right]. \quad (16)$$

При отсутствии агломерации (16) переходит в уравнение

$$f_1(\delta_i) = f_0(\delta_i) \left[1 - \left(\alpha \bar{\delta}_i^\beta \left(\frac{\bar{\delta}_i}{\delta_m} \right)^\gamma \right) \Delta t \right] + \Delta t \left[\sum_{s=1}^{i-1} \alpha \bar{\delta}_s^\beta \left(\frac{\bar{\delta}_s}{\delta_m} \right)^\gamma \frac{\delta_i - \delta_{i+1}}{\delta_{s+1} - \delta_{n+1}} f_0(\delta_s) \right]. \quad (17)$$

Параметрами идентификации модели измельчения и агломерации являются коэффициенты $\alpha, \beta, \gamma, \mu$ и ω , а также количество эквивалентных нагружений при прохождении материала под валком n_r . При отсутствии агломерации, в соответствии с (17), в модели чистого измельчения остаются параметры α, β, γ и n_r .

При анализе результатов опытного размола было отмечено, что наибольшую зависимость от влажности имеют параметры α и μ , отражающие интенсивность процессов измельчения и агломерации. В соответствии с этим на первой стадии обработки экспериментальных данных для всего массива независимо от влажности угля и типов размольных валков было найдено, что наблюдаемая в опытах структура дисперсного состава размолотых частиц достигается при следующих значениях коэффициентов: $n_e = 7; \beta = 0,65; \gamma = -0,25; \omega = -0,85$. Оставшиеся параметры α и μ определялись путем минимизации суммы квадратов расхождений значений полных остатков, полученных ситовым анализом и рассчитанных по (16) (рис. 2, 3).

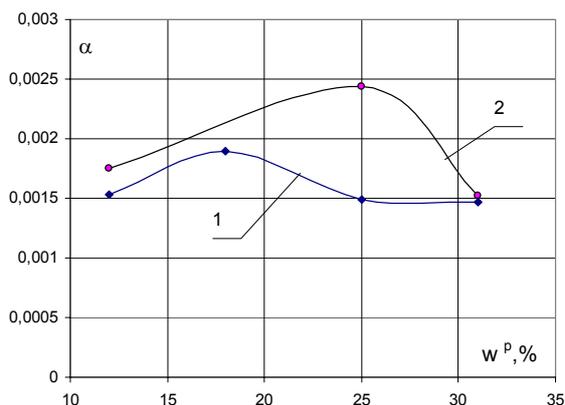


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропорциональности селективной функции измельчения от влажности угля: 1 – конические валки; 2 – тороидальные валки

При использовании конических валков с увеличением влажности параметр α сначала несколько возрастает с 0,00154 при $w^p = 12\%$ до 0,0019 при $w^p = 18,8\%$, а затем снижается практически до первоначального значения $\alpha = 0,00149$ при $w^p = 25\%$ и $\alpha = 0,00147$ при $w^p = 31\%$. Тороидальные валки во всем

диапазоне изменения влажности обеспечивают несколько большую скорость измельчения: $\alpha = 0,00176$ при $w^p = 12\%$, $\alpha = 0,00244$ при $w^p = 25\%$ и $\alpha = 0,00152$ при $w^p = 31\%$.

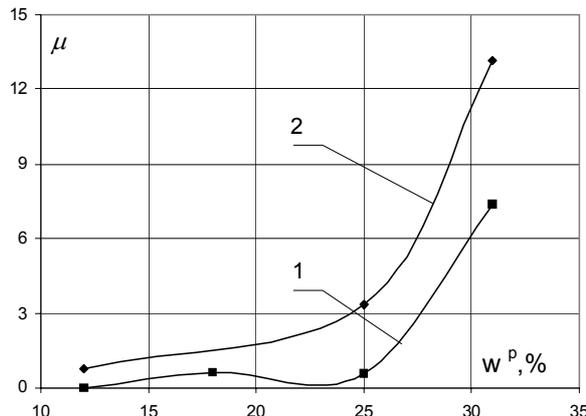


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропорциональности селективной функции агломерации от влажности угля: 1 – конические валки; 2 – тороидальные валки

Однако конические валки менее способны процессу агломерации. При размоле воздушно-сухой пробы с $w^p = 12\%$ коэффициент μ , пропорциональный скорости агломерации, однозначно равен нулю. При увеличении влажности угля до 25% значение параметра несколько увеличивается до 0,56–0,64 и только при более высокой влажности $w^p = 31\%$ коэффициент μ быстро возрастает до 7,35.

При размоле угля тороидальными валками агломерация продуктов разрушения более интенсивна. Значение коэффициента пропорциональности μ более монотонно возрастает с 0,76 при $w^p = 12\%$ до 3,34 при $w^p = 25\%$ и до 13,15 при $w^p = 31\%$.

Вторая серия опытов включала в себя измельчение доведенного до воздушно-сухого состояния с $w^p = 12\%$ бурого угля в вентилируемой мельнице с сепаратором пыли конструкции ИГЭУ (табл. 2).

Таблица 2. Результаты опытов по измельчению бурого угля в вентилируемой мельнице с сепаратором, $w^p = 12\%$

Параметры		Опытные данные					
Производительность, кг/ч		144	144	136	90	120	116
Вентиляция, м³/ч		780	580	450	275	360	360
Высота зоны, мм		100	100	100	200	200	200
Лопатки сепаратора, град		45	45	45	30	45	30
Дисперсные составы, R, %							
Размер ячеек сит, мкм	710	2	1	0,2	0	0	0
	400	12	7,7	1,5	0	0	0
	200	40	32	10	0,5	2,3	3,6
	90	69	56	28	19	28	34
	0	100	100	100	100	100	100

Опыты показали, что получение более мелкой готовой пыли может быть достигнуто за счет снижения вентиляции мельницы или уменьшения границы разделения сепаратора (за

счет установки лопаток сепаратора под большим углом или увеличения высоты зоны разделения), при этом более высокая производительность мельницы обеспечивается при большей вентиляции мельницы.

Для оценки производительности мельницы в зависимости от влажности угля, эффективности разделения сепаратора и тонкости готовой пыли по математической модели вентилируемой среднеходной мельницы с сепаратором пыли [1], в которой процесс разрушения и агломерации описывался уравнением (17), были проведены варианты расчетов. При этом принималось, что максимальная производительность мельницы ограничивается одинаковым для всех случаев максимально допустимым потоком сырого угля и возврата на размольный стол мельницы. Для большей наглядности результаты оценки производительности пылесистемы представлены в относительном виде, где в качестве нормирующей величины принята производительность мельницы с коническими валками и сепаратором типа ТКЗ-ВТИ при размоле угля с влажностью $w^p = 12\%$ до тонкости $R_{90} = 30\%$.

Анализ зависимостей производительности мельницы от тонкости готовой пыли при размоле воздушно-сухого угля с влажностью $w^p = 12\%$ (рис. 4) показывает, что при угрублении готовой пыли с $R_{90} = 30\%$ до $R_{90} = 35\%$ максимальная производительность мельницы с коническими валками и сепаратором ТКЗ-ВТИ увеличивается на 8%; дальнейшее угрубление пыли до $R_{90} = 40\%$ позволяет поднять производительность мельницы на 18%; уменьшение тонкости пыли до $R_{90} = 15\%$ снижает производительность мельницы на 26%.

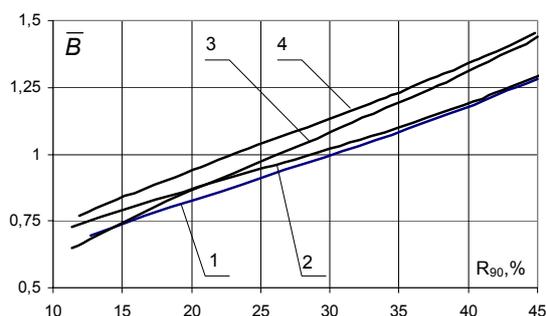


Рис. 4. Влияние тонкости готовой пыли на производительность мельницы, $w^p = 12\%$: 1 – конические валки и сепаратор ТКЗ-ВТИ; 2 – конические валки и сепаратор ИГЭУ; 3 – тороидальные валки и сепаратор ТКЗ-ВТИ; 4 – тороидальные валки и сепаратор ИГЭУ

Установка на эту мельницу более эффективного статического сепаратора ИГЭУ позволяет увеличить производительность мельницы при одинаковой тонкости готовой пыли на 2% при $R_{90} = 30\%$ и на 7% при $R_{90} = 15\%$.

Применение тороидальных валков с сепаратором ТКЗ-ВТИ при $R_{90} = 30\%$ увеличивает производительность мельницы на 9%, а при $R_{90} = 40\%$ – на 11%. Вместе с тем по мере утонения пыли преимущество тороидальных валков снижается и при $R_{90} < 15\%$ более эффективными становятся конические валки.

Применение сепаратора ИГЭУ усиливает положительный эффект от использования тороидальных валков. При $R_{90} = 30\%$ производительность мельницы становится выше на 13,8% по сравнению с базовым вариантом. При $R_{90} = 35\%$ и $R_{90} = 40\%$ прирост производительности составляет 16% и 19,4%, соответственно. При $R_{90} = 15\%$ установка сепаратора ИГЭУ и тороидальных валков увеличивает производительность мельницы на 10,8%.

Анализ зависимостей производительности мельницы с коническими валками и сепаратором ТКЗ-ВТИ от влажности угля (рис. 5) показывает, что с

увеличением влажности от 12% до 18,6% производительность мельницы возрастает на 13,5–17,7%. Дальнейшее повышение влажности до 25% приводит к снижению производительности по сравнению с размолем сухого угля на 7–13%. При влажности 31% производительность мельницы падает на треть при $R_{90} = 40\%$ и более чем в три раза при $R_{90} = 15\%$.

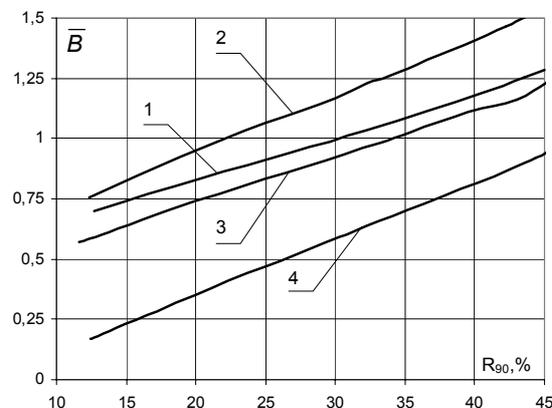


Рис. 5. Зависимости производительности мельницы с коническими валками и сепаратором ТКЗ-ВТИ от тонкости готовой пыли: 1 – $w^p = 12\%$; 2 – $w^p = 18,6\%$; 3 – $w^p = 25\%$; 4 – $w^p = 31\%$

Анализ зависимостей производительности мельницы от тонкости пыли при размоле угля с влажностью 31% (рис. 6) показывает, что при тонкости готовой пыли $R_{90} = 30\%$ производительность мельницы с тороидальными валками и сепаратором ТКЗ-ВТИ снижается более чем в два раза, по сравнению с размолом сухого угля. В этих условиях более перспективным является использование мельниц с коническими валками и статическим сепаратором конструкции ИГЭУ. При $R_{90} = 30\%$ производительность такой мельницы на 20% выше, чем у мельницы с коническими валками и сепаратором ТКЗ-ВТИ и на 33% выше, чем у мельницы с тороидальными валками и сепаратором ТКЗ-ВТИ.

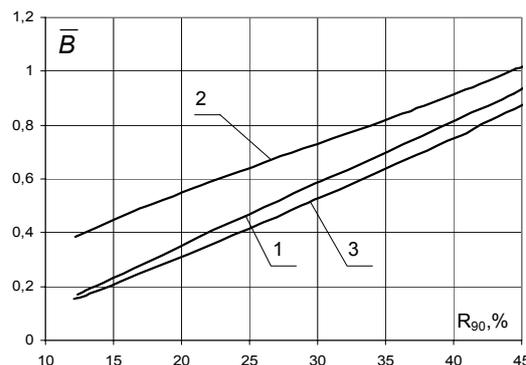


Рис. 6. Зависимости производительности мельницы от тонкости готовой пыли, $w^p = 31\%$: 1 – конические валки и сепаратор ТКЗ-ВТИ; 2 – конические валки и сепаратор ИГЭУ; 3 – тороидальные валки и сепаратор ТКЗ-ВТИ

Следует обратить внимание еще на одну особенность размол влажных углей. При влажности угля 31% для получения пыли с $R_{90} = 30\%$ статический сепаратор ТКЗ-ВТИ должен быть настроен на остаточную низкую границу 10–11 мкм. Более эффективный сепаратор ИГЭУ должен разделять мельничный продукт по более высокой границе 22–23 мкм.

Результаты расчетно-экспериментального исследования измельчения бурого угля в валковой среднеходной мельнице показали, что в достаточно широком диапазоне изменения влажности для получения относительно крупной пыли с $R_{90} > 15\%$ более предпочтительны мельницы с тороидальными валками. Однако существует некоторое пороговое значение влажности угля, выше которого могут возникнуть существенные затруднения при его размоле. Мельницы с тороидальными валками при более высокой интенсивности измельчения не исключают образования крупных агломератов, которые могут нарушить стабильность работы пылесистемы. При влажности, когда процессы агломерации становятся более существенными, предпочтительнее использовать конические валки.

Вопрос о выборе типа валков для получения более мелкой пыли с $R_{90} < 10\%$ является открытым. Следует ожидать, что в этом случае также могут оказаться более эффективными конические валки.

При любой конфигурации валков целесообразно использовать сепараторы с более высокой четкостью разделения, причем преимущество более совершенных сепараторов проявляется в наибольшей степени при увеличении влажности угля и получении более мелкой пыли.

Представленные результаты могут быть использованы при проектировании промышленных среднеходных мельниц для размола материалов, склонных к агломерации, и получения тонкодисперсных порошков.

Шувалов Сергей Ильич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,
телефон (4932) 26-99-13,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Михеев Геннадий Григорьевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,
телефон (4932) 26-99-13,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Список литературы

1. Шувалов С.И., Михеев Г.Г., Кишкин Ю.Н. Выбор конструкции и типоразмера сепаратора для валковой среднеходной мельницы // Вестник ИГЭУ. – 2003. – Вып. 3. – С. 22–26.
2. Гарднер Р.П., Аустин Л.Г. Исследование измельчения в мельнице периодического действия / В кн.: Труды Европейского совещания по измельчению. – М.: Стройиздат, 1966. – С. 219–248.
3. Шувалов С.И., Смирнов А.С., Краснов Е.В. Измельчение и агломерации частиц в шаровых барабанных мельницах // Вестник ИГЭУ. – 2003. – Вып. 1. – С. 65–67.
4. Шувалов С.И. Закономерности преобразования дисперсного состава материала в процессах его измельчения в шаровых барабанных мельницах: Дис... канд. техн. наук. – Иваново, 1983.
5. Михеев Г.Г. Интенсификация процессов измельчения сыпучих материалов в среднеходных валковых мельницах: Дис... канд. техн. наук. – Иваново, 1984.
6. Шувалов С.И. Структурная и режимная оптимизация процессов фракционирования порошков: Дис... д-ра техн. наук. – Иваново, 1995.
7. Лебедев Д.Е. Распределение энергии по фракциям материала при его измельчении и его влияние на прогнозирование фракционного состава: Дис... канд. техн. наук. – Иваново, 2001.