УДК 622.73

В.В.ШУТОВ
ОМЗ Горное оборудование и технологии,
Санкт-Петербург

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ

Добыча и переработка минеральных ресурсов России будут составлять одну из основ экономики нашей страны в XXI в. Среди задач, особенно актуальных в настоящее время для отраслей, перерабатывающих минеральное сырье – минимизация затрат энергии. Значительная часть энергии при переработке минерального сырья тратится на его измельчение. На сегодня основным измельчающим оборудованием в горно-добывающих отраслях промышленности являются барабанные мельницы. Поэтому важным, а может быть и основным, направлением снижения энергозатрат при переработке минерального сырья следует признать улучшение конструкции именно барабанных мельниц. Дан анализ современного состояния и определены направления совершенствования барабанных мельниц.

Extraction and processing of mineral resources of Russia will make one of bases of economy of our country in XXI century. One of the problems, especially actual now for the processing mineral industry is minimization of expenses of energy. The significant part of energy at processing raw material is spent for its crushing and milling. For today the basic milling equipment in mining industries are drum-type mills. Therefore the most important direction in the mineral processing energy decreasing is the improvement in the design of drum-type mills. In the present work the analysis of a modern condition is given and directions of perfection of drum-type mills are determined.

История шаровых мельниц насчитывает более двух веков: от первой для производства пороха с мощностью привода около 500 Вт, созданной во Франции в конце XVIII в., до современных мощностью до 30 МВт [3] было создано большое количество типоразмеров мельниц для измельчения различных материалов сухим и мокрым способом. Однако до настоящего времени не решен вопрос выбора оптимальных параметров, обеспечивающих минимальные приведенные затраты при заданной мощности. Для решения этой проблемы требуются глубокие теоретические и экспериментальные исследования в области механики движения внутримельничной загрузки, включая гидромеханику фильтрации измельчаемого материала через мелющие тела и аэродинамику выноса готового продукта из барабана при сухом измельчении.

Анализ современного состояния теории и техники барабанных мельниц [1, 2], а также выполненные нами теоретические и экспериментальные исследования показали, что существует глобальный оптимум, обеспечивающий минимизацию приведенных затрат при заданной мощности мельницы. Установлено, что существует оптимальное соотношение между частотой вращения барабана, степенью заполнения объема барабана мелющими телами и степенью заполнения порового пространства между мелющими телами и измельчаемым материалом, поддержание которого во время эксплуатации мельницы на постоянном уровне обеспечивает минимальное удельное потребление энергии на измельчение. Определено оптимальное соотношение между длиной барабана и его диаметром при заданной мощности мельницы, которое обеспечивает минимальную площадь футеруемой поверхности, минимальный объем загрузки мелющих тел, минимальную площадь под установку мельницы и минимальный объем помещения для размещения мельницы (патент № 2028185). Разработана методика подбора состава мелющей загрузки, в основу которой впервые положены идеи теории фильтрации жидко-

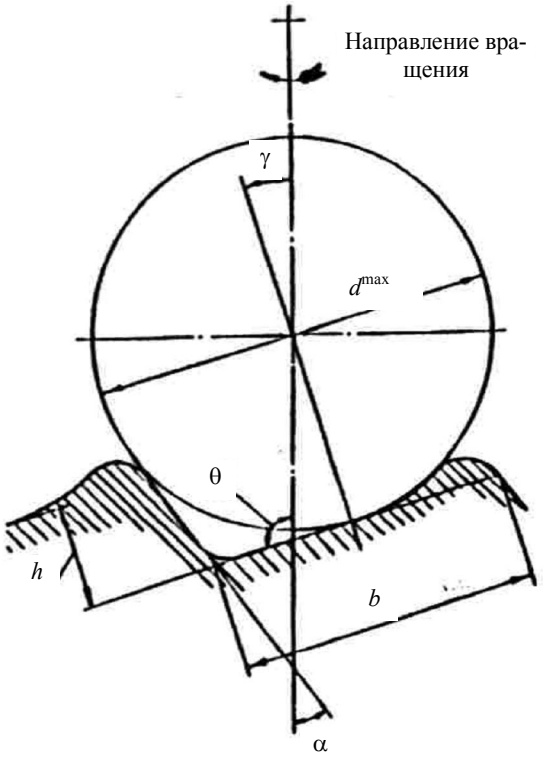


Рис.1. Оптимальный профиль рабочей поверхности бронеплит

сти через пористую среду под действием гравитационной и центробежной сил. Выбрана оптимальная форма мелющих тел для барабанных мельниц. Показано, что мелющие тела должны иметь форму тетраэдров постоянной ширины (а.с. № 1388088), а не шаров. Предложенная форма обеспечивает наилучшее сцепление мелющих тел с рабочей поверхностью футеровки и исключает проскальзывание между слоями мелющих тел, находящихся на круговых траекториях, что обеспечивает оптимальные траектории движения основной массы внутримельничной загрузки, при этом существенно снижается удельный расход мелющих тел и контактирующей с ними рабочей поверхности бронеплит.

Разработан оптимальный профиль рабочей поверхности бронеплит (рис.1) цилиндрической поверхности барабана (а.с. № 1724363, № 1795584). Параметры профиля определяются диаметром барабана, частотой вращения барабана и максимальным размером мелющих тел загрузки, при этом обеспечивается минимальный износ рабочей поверхности футеровки за счет создания условий нормального соударения мелющего тела с лобовой поверхностью броневой плиты. Металлоемкость и удельный износ на тонну измельченного материала предложенного профиля ниже, чем у известных конструкций.

Создана конструкция трехсегментного подшипника, обеспечивающая минимальные потери энергии на трение за счет выбора оптимального диаметра опорной поверхности цапфы, а также расположения и размеров сегментов. Предложенная конструкция подшипника свободно компенсирует механические деформации цапф и тепловые деформации вращающихся частей мельницы, что обеспечивает длительный срок службы антифрикционного покрытия сегментов и, как следствие, снижает ремонтно-эксплуатационные издержки.

Для повышения эксплуатационной надежности необходим частотно регулируемый привод мельницы, который обеспечивает оптимальный пуск и остановку мельницы, а также поддерживает оптимальную частоту вращения барабана мельницы. Частота вращения мельницы в рабочем режиме должна изменяться по мере износа футеровки, что приводит к увеличению диаметра мельницы в свету. Частотно-регулируемый привод мельницы обеспечивает существенное увеличение срока службы мельницы за счет снижения динамических нагрузок при пуске и остановке мельницы во всех элементах передачи энергии от двигателя до мельничной загрузки.

Разработаны способы и устройства контроля: степени заполнения мельницы измельчаемым материалом (а.с. № 1410341); износа мелющих тел (а.с. № 1727264); износа футеровки (а.с. № 1740062); массы мелющих тел – на основе анализа спектра шума издаваемого ударами мелющих тел о футеровку и материал и распространяющегося по металлической конструкции мельницы.

На основе полученных результатов была создана барабанная мельница МБ 56/29, с оптимальным отношением длины барабана к ее диаметру. Это позволило сократить объем барабана на 16,5 %, уменьшить пло-

Сравнительные данные характеристик мельницы МШЦ-4500×6000 и мельницы МБ 56/29

Параметры	МШЦ-4500×6000	МБ 56/29	Разность	Разность, %
Толщина футеровки, мм	120	70	50	41,67
Рабочий диаметр барабана в свету, мм	4260	5600	-1340	-31,46
Длина барабана, мм	6000	2900	3100	51,67
Рабочий объем барабана, $м^3$	85	71	14	16,47
Масса, т:				
Шаровой загрузки	165	147	18	10,91
Барабана с футеровкой и мелющими телам	420	310	110	26,19
Мельницы без шаров и двигателя	355	250	105	29,58
Электродвигатель:				
Мощность номинальная, кВт	2500	2500		
Частота вращения, $мин^{-1}$	150	150		
Габаритные размеры мельницы в сборе, мм:				
Длина	16000	12680	3320	20,75
Ширина	9100	9700	-600	-6,59
Высота	6800	7745	-945	-13,90
Площадь под машину, $м^2$	145,6	123	22,6	15,52
Мощность, передаваемая загрузке, кВт	2275	2275		
Насыпная плотность мелющих тел, $кг/м^3$	4600	4800		
Рабочая площадь футеровки барабана, $м^2$	99,25	88,45	10,80	10,88
Масса футеровки, т	93,49	48,60	44,89	48,01

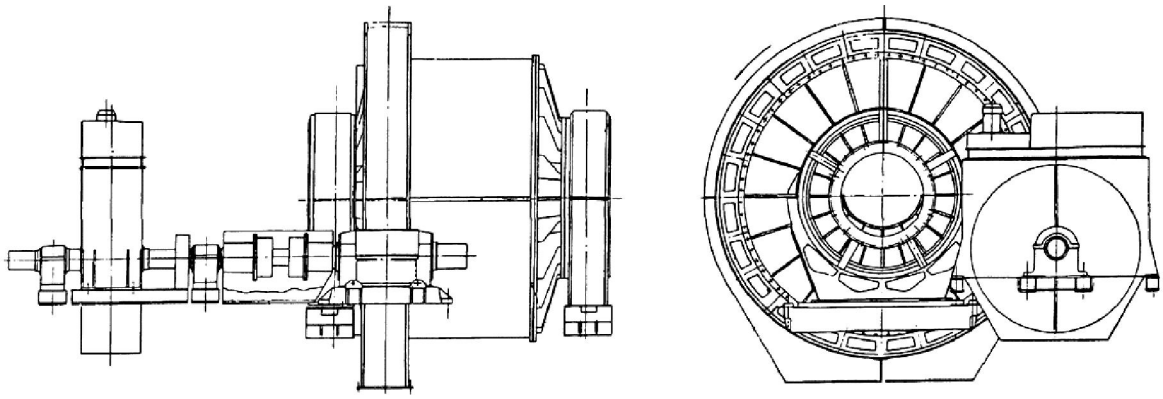


Рис. 2. Общий вид мельницы МБ 56/29

щадь футеруемой поверхности барабана на 11,0 %, уменьшить массу мелющих тел на 10,9 % и снизить металлоемкость на 29,6 % по сравнению с серийно выпускаемой мельницей равной производительности МШЦ-4500×6000. Технические характеристики модернизированной и серийно выпускаемой мельниц показаны в таблице. Общий вид мельницы МБ 56/29 приведен на рис.2.

Результаты сравнительного анализа серийной и оптимальной мельниц наглядно иллюстрируют перспективу совершенствования барабанных мельниц. Одновременно следует иметь в виду, что наибольшая эффективность может достигаться только при комплексном подходе к решению задачи:

- на стадии проектирования машин – выбор оптимальных размеров барабана и подшипников;
- на стадии подготовки производства – выбор оптимальной формы рабочей поверхности футеровки барабана и выбор формы, размера, общей массы и сортамента мелющих тел;

• на стадии эксплуатации – поддержание оптимальной степени заполнения мельницы измельчаемым материалом, оптимального веса мелющих тел, сортамента мелющих тел, оптимальной частоты вращения барабана мельницы с использованием систем автоматического контроля и управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. М.: Недра, 1982.

2. *Bernutat P.* Berechnung optimaler Zachnkranzantriebe. Zement-Kalk-Gips. 1966. № 5. p.223.

3. *Knecht J.* New record sized equipment for the comminution of minerals / Proceedings Randol Gold Forum. 1993.