

Н.С. ПРЯДКО, канд. техн. наук, **Л.В. МУЗЫКА**

(Украина, Днепропетровск, Институт технической механики НАН Украины и ГКА Украины)

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Постановка проблемы. В горнорудной, горнохимической и других отраслях промышленности для помола рудных и нерудных полезных ископаемых используются различные виды мельниц. На сегодняшний день для получения мелкодисперсных материалов получили широкое распространение следующие измельчительные установки: барабанные мельницы сухого и мокрого помола, вибрационные, центробежные, роторные, кольцевые, планетарные и струйные мельницы.

Измельчение очень энергоемкий и металлоемкий процесс. На обогатительных фабриках на измельчение руд тратится 45-65% общего расхода энергии. Особенно много энергии необходимо для тонкого измельчения материалов. Поэтому контроль и оптимизация процесса измельчения является актуальной задачей.

Анализ последних достижений. Вопросы выбора оптимального режима измельчения и управления процессом рассматривались давно [1-3]. Вопросам повышения эффективности работы измельчительных агрегатов посвящены труды многих советских и зарубежных авторов: С.Е. Андреева, Б.А. Арефьева, И.Г. Гривмава, Д.К. Крюкова, А.Н. Марюты, В.А. Олевского, В.А. Петрова, О.Н. Тихонова, А.Е. Тропа, Г.А. Хаца, С.Ф. Шинкоренко, Б.П. Яшина, Д. Ватсона, А. Линча и многих других. В последние годы для решения задач управления мельницами широко используются управляющие вычислительные комплексы, автоматизированные системы управления (АСУ). Введение в контур управления АСУ позволяет применять более совершенные алгоритмы управления, сделать структуру выработки управляющего воздействия более гибкой. В зависимости от типа мельницы используется тот или иной способ мониторинга и управления степенью измельчения материала.

Целью данной работы является анализ способов управления процессом измельчения барабанной и струйной мельницами, выбор наиболее перспективных направлений разработки автоматизированного управления процессом.

Изложение основного материала. В барабанной измельчительной установке степень измельчения зависит от заполнения и скорости вращения барабана мельницы. На рис.1 представлена барабанная мельница, где 1 – барабан, 2 – торцевые крышки, 3 – загрузочные и разгрузочные концы 4 – разгрузочной воронки, 5 – подшипники, 6 – питатель, 7 – футеровка и 8 – разгрузочная решетка. Датчики вибрации, установленные на опорном подшипнике, фиксирует колебания барабана мельницы.

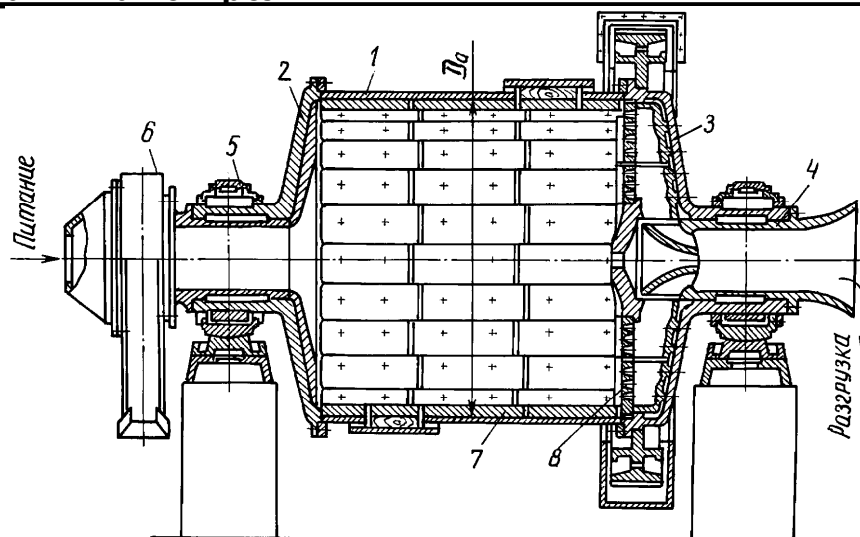


Рис. 1. Барабанная мельница непрерывного помола

Для автоматизации процесса измельчения, необходимо, чтобы система автоматического контроля имела информацию о размере частиц продукта после прохождения процесса измельчения. Степень заполнения барабана влияет на размер частиц измельченного продукта [4], поэтому для контроля измельчения используют прямые и косвенные измерения загрузки барабана. Датчик позволяет судить о степени заполнения измельчительной: чем больше загрузка, тем больше амплитуда колебаний барабана. К преимуществам данного способа измерения можно отнести практически абсолютной помехозащищенности от влияния шумов рядом работающего оборудования.

Недостатком данного устройства для автоматического контроля внутримельничного заполнения является нестабильность показаний датчика и зависимость его погрешности от положения измеряемого вектора вибрации в пространстве. Чем больше угол несовпадения вектора с измерительной осью датчика, тем больше погрешность измерения, причем положение измеряемого вектора в процессе работы шаровой мельницы всегда различно и определяется состоянием внутримельничного заполнения, что подтверждено теорией и практикой измельчения.

Для контроля процесса измельчения мельниц периодического действия используется другой принцип: заполнение мельницы поддерживается на определенном уровне за счет регулировки времени загрузки и разгрузки барабана. Подачу и выгрузку чередуют с паузами, измеряют соотношение времени подачи к времени паузы и при отклонении заданного значения дисперсности изменяют это соотношение, причем при увеличении дисперсности это соотношение увеличивают, уменьшая время паузы или увеличивая время подачи и время выгрузки [5]. Отрицательной стороной этого способа является недостаточная устойчивость и управляемость получения материалов, высокие удельные энергозатраты.

О степени заполнения барабана можно судить по потребляемой мощности приводным электродвигателем. Чем больше потребляемая мощность, тем больше заполнение барабана [6]. К преимуществам данного способа измерения относится: простота и дешевизна реализации. К недостаткам можно отнести низкую точность измерения и необходимость учитывать плотность измельчаемого материала и количество помольных шаров.

В настоящее время развиваются перспективные методы акустического мониторинга работы мельниц. Известна система для оценки количества угля в шаровой мельнице, основанная на измерении уровня шума, излучаемого мельницей в процессе ее функционирования. Недостаток подобной системы состоит в том, что она выдает сигнал, который в значительной степени зависит от производительности данной шаровой мельницы, размеров подаваемых в эту мельницу кусков каменного угля, количества работающих в данной мельнице шаров и футеровочных плит, которыми оборудованы внутренние стенки мельницы.

Для прямой оценки степени заполнения мельницы непрерывного помола используются ультразвуковые датчики. Передатчик ультразвука и приемник устанавливаются в разных концах барабана (рис. 1). Излучатель работает в диапазоне частот 0,4 – 1 МГц. Заполнение определяется по амплитуде принятого сигнала приемником или по времени прохождения сигнала от передатчика до приемника [7]. Это позволяет характеризовать величину плотности распределения взвешенных в газовой среде твердых частиц. К недостаткам метода можно отнести некорректность измерения в случае улавливания приемником отраженной волны от стенок барабана.

Контроль качества полученного материала по крупности на основании оценки заполнения барабана можно с помощью регулировки подачи измельчаемого материала и изменением скорости вращения барабана мельницы.

Оптимизация процесса измельчения может быть достигнута при управлении работой классификатора и циклона (рис 2.). Материал через загрузочный бункер 3 подается в барабан (1) и затем с помощью энергоносителя подается в классификатор (4), который разделяет мелкие и крупные частицы. Крупные частицы возвращаются на доизмельчение (5), а мелкие осаждаются в циклоне. В данном методе управление происходит по двум направлениям, а именно, по степени загрузки барабана и скорости вращения классификатора.

Для определения размера частиц используются пьезокерамические датчики, которые устанавливаются после барабана и классификатора. На основании сигнала датчика после барабана регулируется подача сырья питателем (2), а с помощью второго датчика на линии (6) контролируется размер частиц после классификатора. На основании анализа сигнала датчика изменяется скорость его вращения [8].

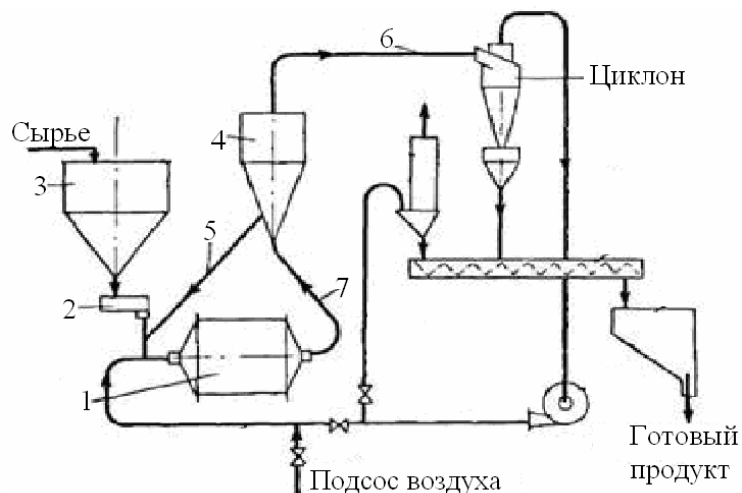


Рис. 2. Схема контроля непрерывного сухого измельчения

Данный метод имеет свои преимущества и недостатки. Преимущества: возможность получения материала необходимой крупности с меньшим содержанием некондиционных частиц за счет замкнутого цикла с классификацией. Недостатки: относительная дороговизна по сравнению с другими методами из-за использования большего количества датчиков, преобразователя частоты (ПЧ) для регулирования скорости вращения классификатора и программируемого логического контроллера (ПЛК) для обработки сигналов с датчиков и формирования задания на питатель и ПЧ.

Методы, основанные на анализе сигналов, записанных в зоне измельчения, разрабатываются и для струйных мельниц. Принципы измельчения в струйной мельнице существенно отличаются от способа измельчения в барабанных мельницах. Материал разгоняется в струях энергоносителя (воздуха, пара, газа) и измельчается без мелющих тел различными способами: истиранием, ударом при столкновении частиц или о стенки, плиту в зависимости от вида мельницы.

Исследованиями струйного измельчения [9-10] показано, что важным фактором, определяющим производительность мельницы, является неоднозначное состояние загрузки струй материалом. При прочих равных условиях масса материала в струе может быть достаточной или недостаточной для достижения требуемой скорости и эффективного разрушения частиц в зоне помола. В зависимости от состояния загрузки струй режим измельчения называют рабочим, разгрузочным или перегрузкой. Последний не допустим, т.к. нарушается режим пневмотранспортирования материала в системе мельницы. Поэтому способы управления струйными мельницами основаны на контроле уровня загрузки струй материалом, поступающим в зону измельчения.

В предложенном способе мониторинга [11] струйного измельчения в противоточной мельнице используются установленные зависимости амплитуды акустических сигналов зоны измельчения от степени загрузки струй измельчаемым материалом, а, следовательно от режима измельчения. По значению

амплитудно-частотных характеристик АС, записываемых в процессе измельчения, можно определить текущий режим измельчения. С целью снижения энергетических затрат система управления процессом струйного измельчения должна обеспечить своевременную подачу порций загружаемого в струи материала в количестве, достаточном для поддержания оптимальных параметров акустического излучения зоны помола. Параметром управления может служить контрольное значение амплитуды сигналов.

Проведенное изучение данных разработанной информационной системы акустического мониторинга [10, 12, 13] позволило установить диапазон информационных частот АС, что уточняет способ управления. По поведению, изменению величины амплитуд сигналов этих частот можно судить о режиме измельчения. На начальном этапе процесса измельчения задаются критические величины $A_{кр}$ амплитуды этих сигналов. Затем в ходе мониторинга происходит уменьшение исходной величины A амплитуды до контрольной ($A \leq A_{кр}$). Приближение амплитуды к контрольной величине обозначает переход рабочего режима измельчения к неполной загрузке мельницы, а дальнейшее уменьшение величины амплитуды до $A \ll A_{кр}$ ведет к остановке процесса измельчения. Поэтому при управлении процессом измельчения условие $A \approx A_{кр}$ является необходимым условием дозагрузки мельницы для продолжения измельчения материала в оптимальном рабочем режиме.

Общая картина распределения амплитудно-частотных характеристик процесса измельчения шлама с периодической загрузкой материала представлена на рис.3, где также видны области информативных частот.

Для контроля качества получаемого продукта проводились исследования сигналов зоны классификации. Пьезокерамические датчики устанавливались в потоке готового продукта за классификатором [10]. Установленные зависимости амплитудно-частотных характеристик этих сигналов и сигналов зоны помола от дисперсности и грансостава измельченного материала позволяют создать систему контроля получаемого продукта

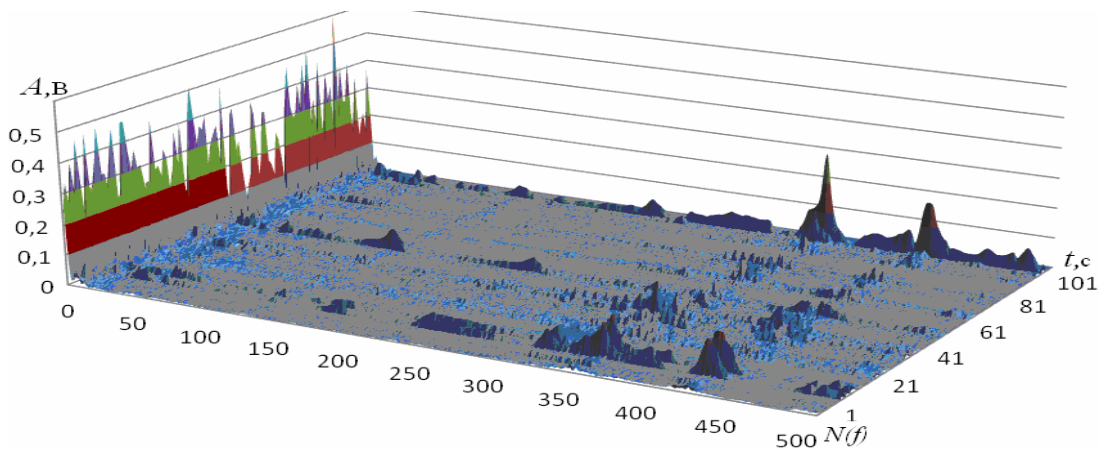


Рис. 3. Кинетика амплитудно-частотных характеристик при измельчении шлама

Випробування та контроль

Выводы

Большинство существующих способов управления и контроля процесса измельчения в мельницах основаны на разных подходах к контролю их загрузкой. Так, для барабанных мельниц характерно управление скоростью вращения и количеством мелющих шаров. Однако предлагаемые методы контроля имеют существенное временное запаздывание, что снижает эффективность управления процессом. Для оптимизации работы струйной мельницы используются сигналы акустического мониторинга зоны измельчения, показывающие наполненность струй материалом. Это позволяет своевременно реагировать на изменение режима измельчения или качества продукта. Работы по созданию системы управления струйным измельчением на основе результатов акустического мониторинга процесса только начаты. Необходимы дальнейшие исследования и разработка системы автоматизированного управления процессом измельчения на основе современных информационных методов анализа сигналов зоны измельчения мельниц.

Список литературы

1. Утеуш Э.В., Утеуш З.В. Управление измельчительными агрегатами. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
2. Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитно-обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1975. – 231 с.
3. Черноусько Ф.Л., Колмановский В.Б. Оптимальное управление при случайных возмущениях. – М.: Наука, 1978. – 351 с.
4. Патент Российской Федерации № 2096088 Устройство автоматического контроля внутримельничного заполнения шаровых мельниц / Гуд М.Б. // опубл. 20.11.1997, заявка №96108693/03.
5. Патент Российской Федерации № 2107550 Способ регулирования процесса помола цементных материалов в трубной мельнице / Вердиян М.А., Платонов В.С., Черкасов Ю.М. // опубл. 27.03.1998, заявка №96117645/03.
6. Патент Российской Федерации № 2149062 Способ управления процессом измельчения / Попов В.П., Щупановский В.Ф., Попов Е.В. // опубл. 20.05.2000, заявка №98121106/03.
7. Патент Российской Федерации № 2145261 Устройство для непрерывного измерения количества угля во внутренней полости шаровой мельницы / Даниель Фонтаниль, Жак Барбо // опубл. 10.02.2000, заявка №95110775/03.
8. Патент Российской Федерации № 2146175 Способ оптимального управления измельчительным агрегатом замкнутого цикла / Рабинович Е.М., Тартаковский И.М., Мерзляков Н.Е., Фролов А.Т // опубл. 10.03.2000, заявка №97115590/03.
9. Прядко Н.С. Акустико-эмиссионный мониторинг процесса струйного измельчения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – № 6. – С. 46-52.
10. Прядко Н.С. Акустические исследования струйного измельчения // LAP LAMBERT Academic Publishing. – OmniScriptum GmbH&Co.Kg. – 2013. – Saarbrucken Germany. – 172 с.
11. Патент України № 104427 Спосіб моніторингу струминного подрібнення і газоструминний млин / Пілов П.І., Горобец Л.Ж., Прядко Н.С. // опубл. 10.02.2014, бюл. № 3, заявка № а201016004 опубл. 10.07.2012, бюл. № 13.
12. Pryadko N. Optimization of fine grinding on the acoustic monitoring basis // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems. – 2015 Taylor & Francis Group, London. – P. 99-108.
13. Прядко Н. С. Информационные технологии для управления тонким измельчением / Н. С. Прядко, Г. А. Стрельников // Техническая механика. – 2014. – №4. – С. 118-125.

© Прядко Н.С., Музыка Л.В., 2014

*Надійшло до редакції 21.09.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*