

Н. С. ПРЯДКО (ИТМ НАНУ И ГКАУ, Днепропетровск),
Т. М. БУЛАНАЯ (ДНУ им. О. Гончара, Днепропетровск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ

Приведены результаты графической интерпретации амплитудно-частотных характеристик акустических сигналов процесса струйного измельчения сыпучего материала. Определены критерии управления процессом на основе данных акустического мониторинга работы струйной мельницы.

Ключевые слова: акустические сигналы, амплитуда, частота, мониторинг, измельчение.

Постановка проблемы и связь с важными научными и практическими заданиями. Переработка крупнозернистых материалов в тонкодисперсные порошки составляет одну из часто используемых и наиболее сложных технологических операций при производстве строительных и отделочных материалов, в порошковой металлургии, при производстве катализаторов и адсорбентов, удобрений, противопожарных средств, керамики, металлокерамических изделий, наполнителей для пластмасс, резин, лаков и красок, бумаги, а так же пищевых продуктов, лекарственных и косметических средств. При этом качество получаемых продуктов зависит от его дисперсности и однородности [1]. Необходимость повышения дисперсности строительных и других материалов приводит к потребности совершенствования существующего и созданию нового оборудования и технологий для тонкого и сверхтонкого измельчения. Однако с увеличением помольного тонкости продукта с некоторого момента производительность начинает резко снижаться при одновременном увеличении энергетических затрат [2], а начиная с некоторой критической точки диспергирования для данного материала дальнейшее измельчение становится практически неосуществимым. Известно, что струйный помол является весьма энергоемким технологическим процессом в производстве минеральных компонентов, вяжущих, порошковых наполнителей. Все это заставляет искать пути управления технологиями помола с целью повышения производительности и улучшения качества продукта при снижении энергоемкости процесса.

Анализ последних публикаций и исследований. Разработанная методика акустического мониторинга струйного измельчения основана на явлении акустической эмиссии, которая связана с излучением упругих волн из твердых частиц при при нагружении и разрушении [3]. Разработанная информационная технология

струйного измельчения [4] основана на информационной системе акустического мониторинга, включающей базы данных акустических сигналов (АС) процесса измельчения сыпучих материалов, данных о соответствующих технологических режимах и свойствах исходных материалов и получаемых продуктов.

Проведенные исследования [5-7] показали связь технологических показателей измельчения и акустических параметров. Показано, что производительность мельницы зависит от наполнения струй материалом, поэтому необходимо в ходе мониторинга обеспечивать оптимальную загрузку мельницы материалом.

Установленные закономерности кинетики АС зоны помола в их связи с производительностью струйной мельницы позволили предложить использовать их для разработки системы управления этим процессом.

В аспекте снижения энергетических затрат система регулирования процесса струйного измельчения должна обеспечить своевременную подачу порций загружаемого в струи материала в количестве, достаточном для поддержания оптимальных параметров акустического излучения зоны помола.

Цель данной работы – разработка методики использования данных информационной системы акустического мониторинга струйного измельчения для управления процессом.

Исследования результатов акустического мониторинга показали зависимость величины амплитуды АС от степени загрузки струй измельчаемым материалом, а, следовательно от режима измельчения. По значению амплитудно-частотных характеристик АС, записываемых в процессе измельчения, можно четко определить текущий режим измельчения: загрузка материала, рабочий режим, недостаточная заполненность мельницы материалом и недопустимый режим – пустая мельница.

Для анализа акустических характеристик процесса измельчения в ходе мониторинга выбирались сигналы за интервалы 0,1 с в различных режимах измельчения. Весь спектр частот разбивался на N классов по 195 частот в каждом, всего 500 классов. На рис. 1 показано изменение величины амплитуды и частоты АС

при измельчении шлама с периодической загрузкой мельницы, где рис. 1, а) – исходные записи сигналов, рис. 1, б) – характеристики разности исходных сигналов и шума пустой мельницы, т. е. фактически характеристики сигналов измельчаемого материала.

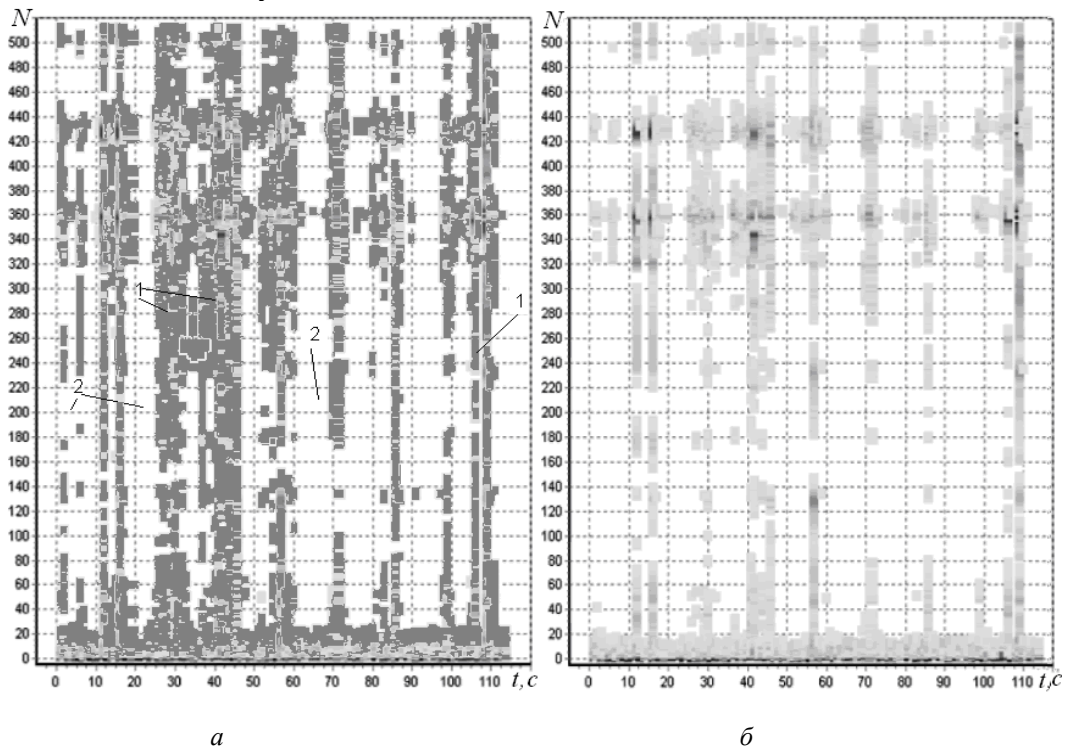


Рис. 1 Изменение амплитудно-частотных характеристик АС при изменении наполненности мельницы материалом.

При достаточной наполненности мельницы, т.е. рабочем режиме измельчения величина амплитуды АС разной частоты показаны на рис. 1 серым цветом (1), при недопустимо малой загрузке мельницы амплитуда сигналов показана белым цветом (2).

Как видно из распределения характеристик режимы пустой мельницы и рабочего режима хорошо отличаются. Например, холостой ход и пустая мельница наблюдалась на секундах 4, 9, 21–25, 48–50, и т. д. Рабочий режим соответствовал записям АС на 10, 15, 40, 46 ..с.

Для выявления информативных частот АС определена амплитуда шума мельницы и вычтена из величины амплитуд сигналов. В этом случае (см. рис.1б) более четко выделены сигналы рабочего режима, обладающие большей амплитудой. Замечены частоты сигналов, характерные для процесса измельчения: это частоты классов 320-360 и 420-440. Эти классы соответствуют частотам 68–72 кГц и 83–85 кГц.

Эти результаты совпадают с ранее проведенными исследованиями. На основе обработки данных мониторинга (частота регистрации АС

200 кГц) процесса измельчения с помощью нейросетевого подхода [8] были определены информативные частоты: $f \approx 70$ кГц и построена модель на соответствующем диапазоне информативных частот ($69 \text{ кГц} \leq f \leq 72 \text{ кГц}$). Обучение нейронов такой модели осуществилось значительно быстрее, и показатели специфичности при ROC-анализе адекватности модели были выше, что говорит о правильности распознавания состояния разгрузки мельницы.

Общая картина распределения амплитудно-частотных характеристик процесса измельчения шлама с периодической загрузкой материала представлена на рис. 2, где также виден области информативных частот.

Подробные исследования были проведены для одного цикла загрузки мельницы. По аналогичной методике были выбраны АС в интервалах длительностью $\Delta t = 1\text{с}$ на протяжении одного периода измельчения загруженной порции кварцевого песка Вольногорского месторождения. На рис. 3 показана величина амплитуды АС разной частоты в ходе измельчения.

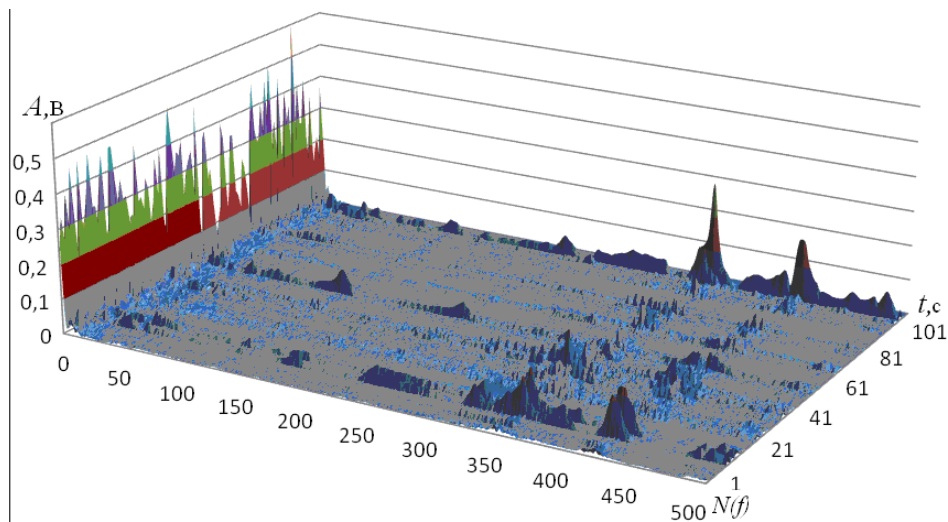


Рис. 2. Кинетика амплитудно-частотных характеристик при измельчении шлака

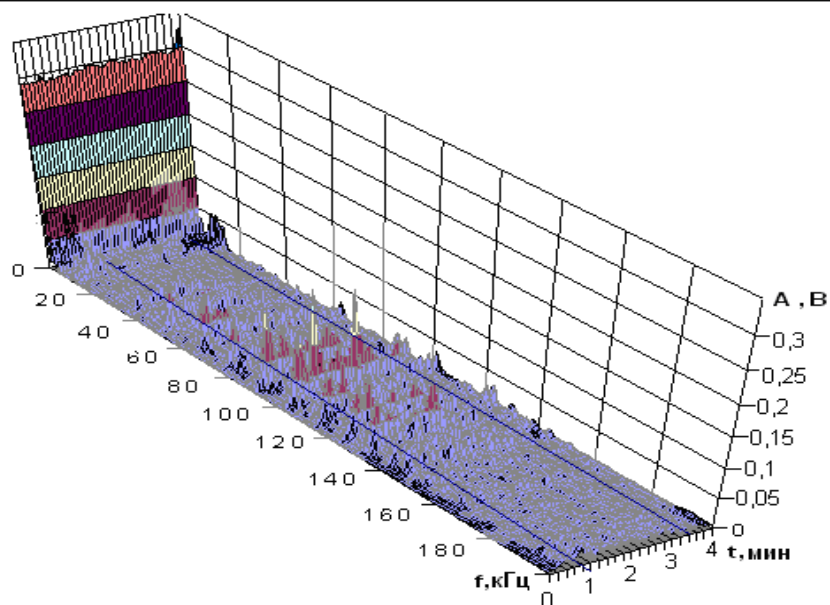


Рис. 3. Величина амплитудно-частотных характеристик при разных режимах измельчения: $0 \leq t \leq 1$, мин – начало загрузки материала; $1 \leq t \leq 3,5$, мин – рабочий режим измельчения; $3,5 \leq t \leq 4$, мин – недостаточная загрузка мельницы

Частота регистрации сигналов составила 400 кГц, поэтому спектр информативных частот расширился и был определен как $65 \text{ кГц} \leq f \leq 125 \text{ кГц}$. В рабочем режиме измельчения $1 \text{ с} \leq t \leq 3,5 \text{ с}$ величина амплитуд АС больше, чем на начальном этапе загрузки и, что более важно, чем на заключительном этапе измельчения, т. е. при недогруженной мельнице. Особенно это характерно для сигналов с частотой, попадающей в диапазон информативных.

Эти результаты согласуются с промышленными испытаниями на Волгоградском керамическом заводе [9]. При струйном измельчении керамического сырья использовался другой

аппаратный комплекс для регистрации АС, однако в блок регистрации сигналов входил тот же широкополосный датчик. Записывались внутренние АС с частотой до 125 кГц, информативная частота сигналов составила 63 кГц и изменение активности АС составила 20-25Дб.

В данной работе изучалась энергетическая характеристика АС. На рис. 4 показано изменение энергии сигналов разной частоты в ходе струйного измельчения кварцевого песка.

Видно, что в процессе измельчения энергия сигналов меняется, причем наибольшей энергией обладают сигналы рабочего режима, режима диспергирования частиц. Это вполне объ-

яснимо, т.к. диспергирование является завершающим актом разрушения. По современным представлениям диспергирование - это процесс разделения деформируемого твердого тела на изолированные отдельные в активных локальных зонах вблизи дефектов структуры по достижении критического (предельного) состояния вещества на неустойчивой авторезонансной ста-

дии предразрушения под действием акустических волн [10], возникающих при автоколебательном движении атомов в этих зонах. В критическом состоянии достигается максимальный уровень накачки материала энергией, при котором формируются и растут микротрещины, образуются тонкодисперсные фракции.

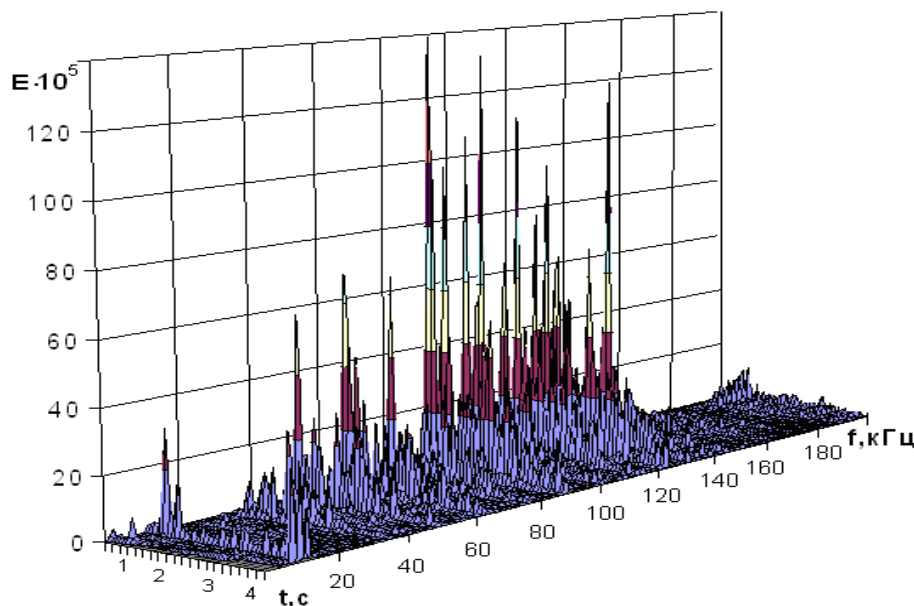


Рис. 4. Распределение энергии АС по частотным полосам в ходе измельчения кварцевого песка

Проведенное изучение данных информационной системы акустического мониторинга позволило установить диапазон информационных частот АС. 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.

Выводы и направления дальнейших исследований. Исследование результатов акустического мониторинга процесса струйного измельчения позволило определить информативные частоты сигналов, диапазон которых согласуется с проведенными ранее исследованиями. По амплитудам сигналов с информаци-

онными частотами можно судить о режиме измельчения и заполненности мельницы материалом.

На основе установленной связи закономерностей изменения технологических параметров процесса струйного измельчения и амплитудно-частотных характеристик данных акустического мониторинга разрабатывается алгоритм управления этим процессом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горобец, Л. Ж. Упрочнение строительных материалов при обработке в струях [Текст] / Л. Ж. Горобец, В. В. Коваленко, Н. С. Прядко, В. П. Кравченко // Сб. науч. тр. ПолНТУ. – 2009. – Вып. 3 (25). – С. 59–66.
2. Пилов, П. И. Выбор критической плотности энергии при тонком измельчении [Текст] / П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, В. Н. Бовенко, Н. С. Прядко // Обогащение руд. – 2007. – № 5. – С. 120–123.
3. Гришко В. Г. Классификация повреждаемости материалов и конструкций по сигналам акустической эмиссии [Текст] / В.Г. Гришко // Акустическая эмиссия материалов и конструкций : 1-я Всесоюз. конф. Ч. 1. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского ун-та, 1989. – С.114–119.

4. Прядко Н.С. Информационная технология получения тонкодисперсных материалов струйным измельчением [Текст] / Н. С. Прядко, Т. М. Буланая, Л. Ж. Горобец, Ю. Г. Соболевская, Н. П. Сироткина.– Системные технологии: региональный межвузовский сборник научных трудов. – Д., 2010. – Вып. 3 (58). – С. 40–46.
5. Пилов П. И. Закономерности акустического мониторинга струйного измельчения полезных ископаемых [Текст] / Пилов П.И., Горобец Л.Ж., Прядко Н.С., Бевзенко Б.Ф., Краснопер В.П. – Збагачення корисних копалин.- – Д. : НГУ, 2011.– № 44 (84). – С. 25–32.
6. Горобец Л. Ж. Интенсификация процесса струйного измельчения на основе анализа акустических параметров [Текст] / Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, И. А. Шуляк, Ю. Г. Соболевская // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 2 (54). – С. 15–19.
7. Пилов П. И. Акустические и технологические характеристики процесса измельчения в струйной мельнице [Текст] / П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, В. Н. Бовенко, Н. С. Прядко // Известия вузов : горный журнал. – 2009. – № 4. – С. 117–121.
8. Прядко Н.С. Анализ информативных акустических параметров при моделировании процесса струйного измельчения [Текст] / Н. С. Прядко, Т. М. Буланая, Л. Ж. Горобец, В. Л. Баранов, Е. В. Воронюк, Р. А. Гавриленко // Системные технологии : региональный межвуз. сб. науч. тр. – Д., 2011. – Вып. 2 (73). – С. 94–99.
9. Горобец Л.Ж. Застосування акустостійного моніторингу щодо струменевого подрібнення [Текст] / Л. Ж. Горобец, І. В. Верхоробіна, Н. С. Прядко, Г. О. Стрельников.– Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні.–Львів.- 2006.–вип. 40.–С. 69 – 74.
10. Бовенко, В. Н. О физических критериях разрушения и диспергирования [Текст] / В. Н. Бовенко, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко. – Вестник НТУ «ХПИ». – Х., 2007. – Вып. 26. – С. 148–153.

Поступила в редколлегию 07.03.2012.
Принята к печати 26.03.2012.

Н. С. ПРЯДКО, Т. М. БУЛАНА

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ СТРУМІННОГО ПОДРІБНЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

Приведено результати графічної інтерпретації амплітудно-частотних характеристик акустичних сигналів процесу струмінного подрібнення сипкого матеріалу. Визначено критерії керування процесом на основі даних акустичного моніторингу роботи струмінного млина.

Ключові слова: акустичні сигнали, амплітуда, частота, моніторинг, подрібнення

N. S. PRYADKO, T. M. BULANAYA

USE OF INFORMATION SYSTEM DATA OF JET CRUSHING ACOUSTIC MONITORING FOR THE PROCESS MANAGEMENT

The graphic interpretation of amplitude and frequency of acoustic signals of loose material jet grinding process are resulted. Criteria of process management is determined on the basis of the acoustic monitoring data of jet mill acting.

Keywords: acoustic signals, amplitude, frequency, monitoring, grinding