

**Л.Ж. ГОРОБЕЦ**, д-р техн. наук, **П.А. БАКУМ**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет),

**Н.С. ПРЯДКО**, канд. техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Институт технической механики НАНУ и НКАУ),

**В.П. КРАСНОПЕР**

(Украина, Вольногорск, Вольногорский горно-металлургический комбинат)

## **КИНЕТИКА ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ ПРИ СТРУЙНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ**

*Постановка проблемы.* Необходимость научного обоснования рациональной технологии тонкого измельчения является актуальной проблемой с позиции оптимизации энергозатрат. В работах [1, 2] показана целесообразность применения акустического мониторинга при струйном измельчении твердых сыпучих материалов из-за высокой коррелируемости счета акустических сигналов в рабочей зоне с эффектами измельчения: величиной удельной поверхности измельченного продукта и содержанием в нем тонкодисперсных фракций. Разработка рационального способа регулирования струйного измельчения твердых сыпучих материалов возможна на основе исследования кинетики двухфазных потоков мельницы и выявления особенностей изменения во времени акустических параметров зоны помола и крупности измельченного продукта.

*Целью данной работы* является установление закономерностей кинетики двухфазных потоков струйной мельницы путем компьютерной обработки акустической информации о состоянии загрузки струй и качестве (дисперсности) получаемого продукта для последующего регулирования загрузки измельчаемого материала.

*Содержание исследований.* Акустическое излучение рабочей зоны противоточной струйной установки измеряли с помощью широкополосного пьезокерамического датчика, соединенного с латунным волноводом, установленным внутри помольной камеры. Запись и дальнейшая обработка сигналов осуществлялась посредством аналого-цифрового преобразователя (АЦП), соединенного с персональным компьютером [3, 4].

На всех стадиях загрузки струй материалом регистрировали счет сигналов (АС) и активность  $\dot{N}(\tau)$  акустической эмиссии ( $\dot{N}$  – активность АЭ – число сигналов в единицу времени), а также значения амплитуд (средних  $A_{cp}$  и максимальных  $A_{max}$ ) акустических сигналов. Величину акустической активности процесса измельчения определяли по разности  $\dot{N} = (N_{\Sigma} - N_x)/\tau$  (имп/с) суммарного счета  $N_{\Sigma}$  сигналов и числа  $N_x$  сигналов шума струи без твердой фазы (фоновый шум, амплитуда шума  $A$  менее 0,02 В).

Изменение плотности потока частиц в струях изменяет вероятность и частоту соударений частиц в зоне помола, что сопровождается изменением активности  $\dot{N}$  акустического излучения этой зоны. Поддержание оптимальных параметров в процессе работы мельницы возможно путем непрерывного контроля

**Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 47(88)**

## Підготовчі процеси збагачення

акустических параметров зоны помола и управления загрузкой измельчаемого материала на основе поиска оптимальной насыщенности струй твердой фазой [6, 7].

Проведены исследования струйного измельчения цирконового концентрата 3 ВГМК и кварцевого песка двух видов: крупного 1 (полидисперсного) и мелкого 2 (вольногогорского). На рис. 1 показан грансостав исследуемых материалов.

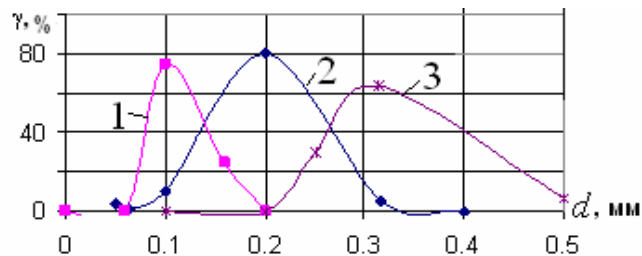


Рис. 1. Гранулометрический состав исходных материалов:  
1 – циркон; 2 – мелкий кварцевый песок; 3 – крупный кварцевый песок

Струйное измельчение производилось в противоточной мельнице УСИ-20 производительностью 2-30 кг/ч. Исходная крупность материалов – менее 0,3 мм. Измельчение проводилось при давлении энергоносителя  $P = 0,3$  МПа и частоте вращения ротора классификатора  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup>.

С подачей исходного материала в инжекторы и началом измельчения происходит следующая трансформация режимов двухфазных потоков. В струю энергоносителя производится загрузка 1-й порции материала. Измельчение начинается в режиме 1 загрузки материала, в условиях максимальной концентрации частиц и их полидисперсного состава, наблюдаемого в исходном материале. В режиме 1 еще не достигаются максимальные скорости разгона частиц, и производительность мельницы далека от максимально возможной. По мере удаления тонких измельченных частиц готового продукта в циклон, струя освобождается от части материала, насыщенность двухфазного потока твердой фазой приближается к оптимальному уровню, обеспечивающему рост скорости разгона и разрушения частиц ударами, и производительность мельницы увеличивается. Режим 1 переходит в рабочий режим 2 и далее, при максимальной скорости разрушения и достаточно высокой вероятности встречных соударений частиц, производительность мельницы достигает максимума.

Испытания показали, что в рабочих режимах 2 целесообразен поиск момента достижения оптимальных условий для своевременной подачи очередной порции исходного материала. В случае задержки подачи материала в струю двухфазные потоки переходят в режим 3 чрезмерной разгрузки струй, особенностью которого является меньшая производительность из-за снижения числа и вероятности встречных ударов частиц в зоне помола, несмотря на достаточно высокие скоростные ударные импульсы и эффективное разрушение частиц в зоне помола.

На всех режимах двухфазных потоков регистрировали уровень акустической активности  $\dot{N}$  и значения амплитуд (средних  $A_{cp}$  и максимальных  $A_{max}$ )

## Підготовчі процеси збагачення

акустических сигналов в рабочей зоне измельчения. На рис. 2 приведены записи кинетики амплитуд АС при измельчении исследуемых материалов: тонкозернистого монодисперсного циркона 1, мелкого монодисперсного песка 2, крупного полидисперсного песка 1. Период записи составил 0,3-0,5 с в каждом контролируемом режиме:

- а) загрузка материала;
- б) рабочий режим;
- в) разгрузка струй.

Сопоставление текущих значений амплитуд указывает на влияние как исходной крупности измельчаемого материала, так и стадии измельчения, отличающейся насыщенностью двухфазного потока твердой фазой.

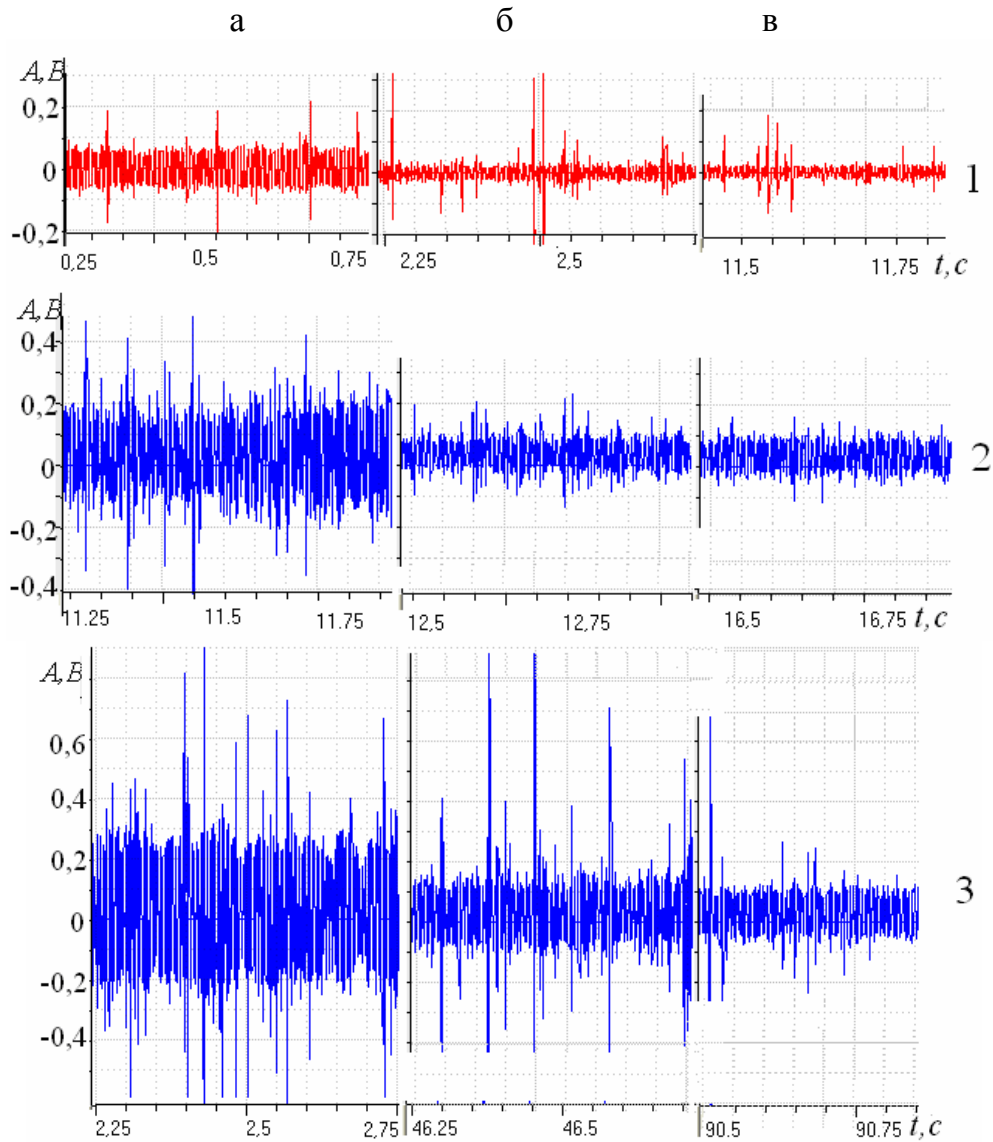


Рис. 2. Примеры записи кинетики амплитуд АС при измельчении исследуемых материалов: тонкозернистого монодисперсного циркона 1, мелкого монодисперсного песка 2, крупного полидисперсного песка 3

## Підготовчі процеси збагачення

Можно сделать вывод о том, что кинетика струй, содержащих более мелкие частицы, характеризуется преимущественно малоамплитудными сигналами по сравнению с измельчением более крупных частиц.

Долевое участие амплитуд в спектре АС показано на рис. 3. Измельчение материалов проводили при технологических параметрах  $P = 0,3$  МПа,  $n = 2000$  мин<sup>-1</sup>. При этом была достигнута разная производительность мельницы и удельная поверхность полученных порошков: циркона –  $S_{уд} = 0,55$  м<sup>2</sup>/г,  $G = 2,7$  кг/ч; мелкого кварцевого песка –  $S_{уд} = 0,79$  м<sup>2</sup>/г,  $G = 3,24$  кг/ч; крупного вольногорского кварцевого песка –  $S_{уд} = 0,46$  м<sup>2</sup>/г,  $G = 3,78$  кг/ч;

Из рис. 3 следует, что достижение завершающей стадии измельчения – разгрузки основной массы частиц в результате их уноса в циклон можно контролировать величиной характерной (с долевым участием более 50%) средней или максимальной амплитуды АС.

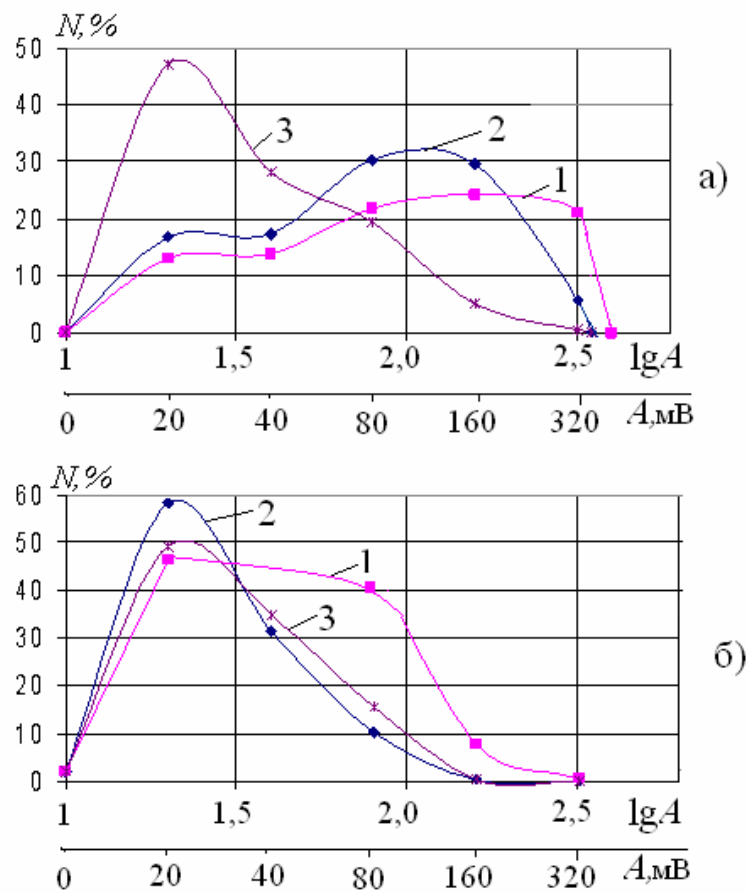


Рис. 3. Распределение амплитуд АС для двухфазных струй на стадии:  
а – загрузки материала; б – разгрузки струй

Рис. 4 характеризует кинетику амплитуд АС зоны помола в различных состояниях струй промышленной струйной мельницы в условиях измельчения цирконового концентрата на ВГМК: а) начало загрузки материалом, б) рабочий режим и в) разгрузка струи. Записи произведены в течение 1 мс. Опытные данные промышленных испытаний струйного измельчения цирконового концен-

трата (см. рис. 4) подтверждают значительное (в 2-3 раза) уменьшение средних и максимальных значений амплитуд АС в кинетике измельчения по мере разгрузки струй от твердой фазы.

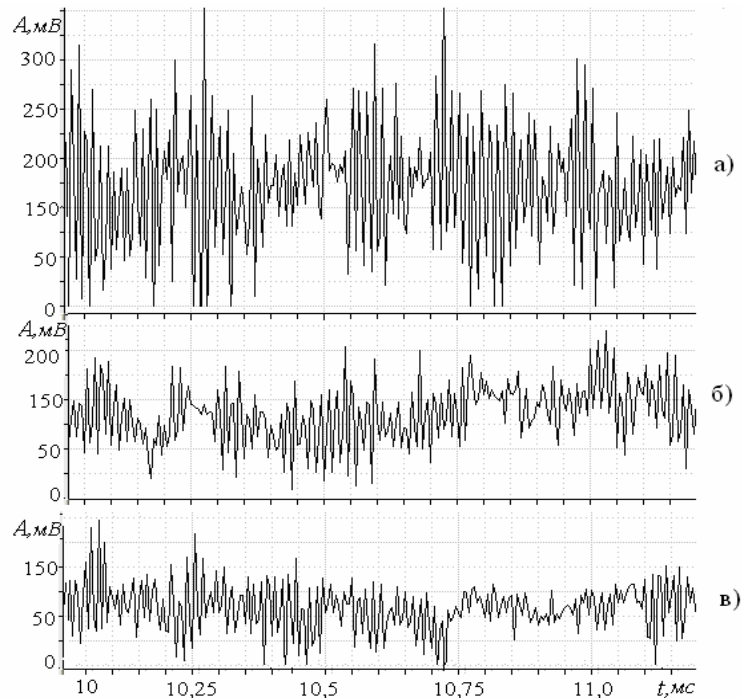


Рис. 4. Кинетика амплитуд акустических сигналов зоны помола промышленной струйной мельницы на ВГМК при загрузке струй (а), в рабочем режиме (б) и при разгрузке струй (в)

### *Выводы*

1. Проведенный акустический мониторинг струйного измельчения кварцевого песка и цирконового концентрата на лабораторной и промышленной мельницах показал уменьшение во времени значений амплитуд акустических сигналов.

2. Наблюдаемая зависимость объясняется уменьшением размеров частиц, содержащихся в двухфазных потоках, в результате их измельчения, что подтверждается корреляцией распределений размеров частиц и амплитудных распределений АС на стадии загрузки в струю исходного материала.

3. Поддержание высокой эффективности измельчения в процессе непрерывной разгрузки двухфазных потоков в результате выноса измельченных фракций из системы мельницы возможно на основе своевременной догрузки струй материалом. Момент своевременности подачи материала контролируется акустическим мониторингом, в частности, кинетикой снижения амплитуд АС.

4. Для крупности измельчаемого материала менее 0,2-0,3 мм установлена граница допустимого уменьшения (до 2-3 раз) средних и максимальных значений амплитуд в процессе струйного измельчения.

5. Закономерности кинетики амплитуд АС зоны помола струйной мельницы могут быть использованы для разработки автоматической системы управле-

## **Підготовчі процеси збагачення**

ния этим процессом на основе созданной базы данных акустического мониторинга.

### **Список литературы**

1. P.I. Pilov, L.J.Gorobets, V.N. Bovenko, N.S. Pryadko /An acoustic monitoring of the sizes changes of grinded particles // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №6. – С. 23-26.

2.. Акустические и технологические характеристики процесса измельчения в струйной мельнице / П.И. Пилов, В.Н. Бовенко, Л.Ж. Горобец и др. // Известия вузов. Горный журнал. – 2009. – № 4. – С. 115-121.

3. Информационная технология получения тонкодисперсных материалов струйным измельчением / Н.С. Прядко, Т.М. Буланая, Л.Ж. Горобец и др. // Системные технологии: региональный межвузовский сборник научных трудов. – 2010. – Вып. 3(58). – С. 40-46.

4. Характеристики дисперсности продуктов струйного измельчения / Л.Ж. Горобец, Н.С. Прядко, В.П. Краснопер и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. –2010. – Вип 41(82)-42(83). – С. 111-121.

© Горобец Л.Ж., Бакум П.А., Прядко Н.С., Краснопер В.П., 2011

*Надійшло до редакції 02.12.2011р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*