

**Н.С. ПРЯДКО**, канд. техн. наук

(Україна, Днепропетровск, Інститут технічної механіки НАН України і ГКА України),

**Л.Ж. ГОРОБЕЦ**, д-р техн. наук

(Україна, Днепропетровск, Государственное ВУЗ " Национальный горный университет"),

**В.П. КРАСНОПЕР, И.В. САМОФАЛ**,

(Україна, Вольногорск, Вольногорский ГМК)

### **АКУСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ В ПОТОКАХ ГАЗОВЗВЕСИ**

*Постановка проблемы.* Актуальной задачей совершенствования технологии измельчения является исследование кинетики размеров и гранулометрического состава транспортируемых частиц в измельчительных установках. Например, в технологии струйного измельчения цирконового концентрата возможность дискретного прогнозирования крупности частиц в потоках газозвеси позволит сделать своевременную оценку величины циркулирующей нагрузки с тем, чтобы обеспечить ее оптимальный уровень, при котором достигается максимальная производительность мельницы.

Прогноз энергоемкости и эффектов измельчения позволит также решить проблему оптимизации работы струйных измельчительных установок. Полагаем, что это возможно на основе использования системы акустического мониторинга различных зон помола, классификации и транспортирования двухфазных потоков.

*Анализ последних достижений.* Основой научного направления прогнозной оценки показателей измельчения является изучение закономерностей акустической эмиссии (АЭ) при разрушении нагружаемых тел [2, 5].

Установлена корреляционная связь количества мелких и тонких фракций (менее 100 мкм), образованных при разрушении сжатием модельных образцов горных пород, с удельным счетом акустических сигналов (АС). При этом изменение размеров трещин в очагах разрушения нагружаемого образца сопровождается значительными изменениями амплитуд сигналов акустической эмиссии (от единиц милливольт до единиц вольт).

В технологии струйного измельчения в зависимости от заполнения струй материалом возможны текущие изменения размеров частиц, режимов их соударений, условий классификации газозвеси и соответственно дисперсности готового продукта. Разработанная методика [6, 7] включает контроль следующих характеристик акустических сигналов (АС): кинетику амплитуд и активности  $\dot{N}(\tau)$  акустической эмиссии ( $\dot{N}$  – активность АЭ – число сигналов в единицу времени).

Исследования показали, что изменение концентрации частиц в потоках газозвеси обуславливает изменение акустической активности  $\dot{N}$  в зоне соударений частиц [8, 9]. Поскольку показатель  $\dot{N}$  характеризует вероятность столкновений частиц в зоне помола, полагаем, что установление его оптимального

уровня при прочих равных условиях может стать основой оптимизации работы струйной мельницы.

При работе измельчительной установки применение акустического мониторинга включает сопоставление акустических параметров на различных стадиях измельчения с производительностью мельницы, крупностью частиц и величиной удельной поверхности измельченного продукта. Следует отметить, что в ряде опубликованных работ влияние фактора крупности в кинетике струйного измельчения изучено недостаточно.

В этой связи *целью данной работы* является акустическое исследование влияния гранулометрического состава и вида измельчаемого материала на акустические параметры двухфазных потоков применительно к проблеме оптимизации технологии струйного измельчения.

*Изложение основного материала.* Акустическое исследование проводилось с помощью записи сигналов зоны измельчения и классификации струйной лабораторной мельницы УСИ-20 и сигналов, записываемых в свободном двухфазном потоке, истекающем из разгонной трубки этой же мельницы.

При отклонения технологии измельчения может возникать нарушения дисперсности продукта. Результаты акустического мониторинга позволяют контролировать качество измельченного материала (рис. 1). На рис. 1 представлены записи акустических сигналов в условиях работы промышленной мельницы в условиях ВГМК.

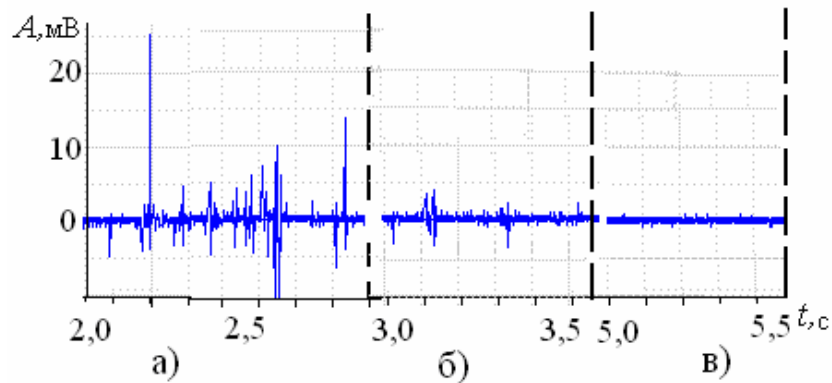


Рис. 1. Записи акустических сигналов при промышленном измельчении циркония:  
а – некондиционное качество,  $R_{63} > 3\%$ ; б – допустимое качество,  $R_{63} = 1,5\%$ ;  
в – оптимальное качество,  $R_{63} = 0-0,5\%$

Акустические сигналы улавливались волноводом, соединенным с широкополосным пьезокерамическим датчиком [1], далее передавались на АЦП и компьютер. Частота регистрации и технологические параметры энергоносителя поддерживались постоянными:  $w = 400$  кГц,  $P = 0,3$  МПа,  $t = 2930$  К. Для анализа сигналов использовались акустические характеристики: максимальная амплитуда, их активность. Рассматривались сигналы, записанные за 0,1 с.

На всех стадиях загрузки струй материалом регистрировали уровень аку-

## Підготовчі процеси збагачення

стической активности  $\dot{N}$  и значения амплитуд (максимальных  $A_{\max}$ , число малоамплитудных сигналов  $\dot{N}(A_{<40})$ , т. е. сигналов с  $A < 40$  мВ) акустических сигналов. В режиме работы мельницы с рациональной загрузкой измельчаемого материала (коэффициент загрузки  $K = 0,5-1$ ) активность акустического излучения зоны помола составляет  $\dot{N} = (1,2-1,9) \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ , производительность  $Q = 1,9-5,8 \text{ кг/ч}$  ( $P = 0,3 \text{ МПа}$ ,  $n = 2000-3000 \text{ мин}^{-1}$ ), удельная поверхность порошков  $S_{\text{уд}} = 0,48-0,82 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Гранулометрический состав материалов определялся ситовым способом, удельная поверхность измерялась на приборе MALVERN.

На рис. 2 представлены записи акустических сигналов при пневмотранспортировании узких фракций (а) и струйном измельчении (б) кварцевых песков разной дисперсности (давление энергоносителя  $P = 0,3 \text{ МПа}$ ).

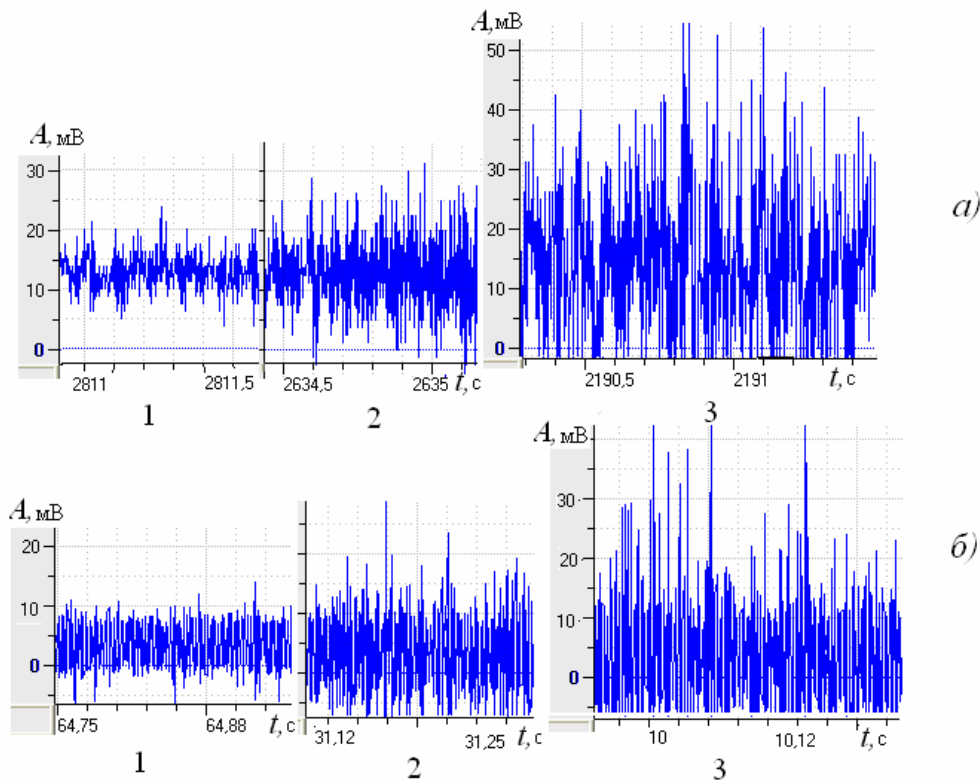


Рис. 2. Изменение амплитудных характеристик акустических сигналов в зависимости от дисперсности кварцевого песка при транспортировании в потоке (1) и струйном измельчении (2):

а класс крупности: 1 – 0,1-0,2 мм; 2 – 0,2-0,3 мм; 3 – 0,3-0,4 мм;

б: 1 –  $S_{\text{уд}} = 0,72 \text{ м}^2/\text{г}$ ; 2 –  $S_{\text{уд}} = 0,6 \text{ м}^2/\text{г}$ ; 3 –  $S_{\text{уд}} = 0,5 \text{ м}^2/\text{г}$

В результате акустического мониторинга процесса струйного измельчения были установлены величины максимальных амплитуд в режиме загрузки исходного материала и в режиме разгрузки измельченного продукта. На рис. 3 сопоставлены гранулометрические и акустические распределения соответственно размеров частиц (а) и амплитуд (б) сигналы записаны на стадии загрузки струйной мельницы для кварцевых песков при различной средневзвешенной крупности ( $d_{\text{cp}}$ ).

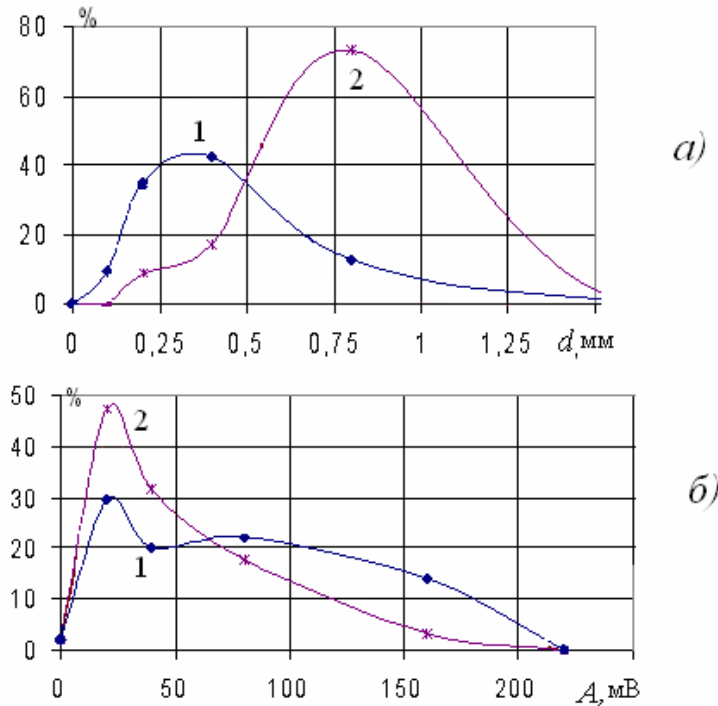


Рис. 3. Гранулометрические распределения (а) и акустические характеристики (б) измельчения кварцевых песков:  
1 –  $d_{cp} = 0,36$  мм; 2 –  $d_{cp} = 0,67$  мм

На рис. 4 показаны результаты экспериментальных измерений максимальных амплитуд  $A_{max}$  акустических сигналов на стадии разгрузки струй при измельчении кварцевого песка, шлака, циркона в условиях работы лабораторной и промышленной струйной мельницы, а также пневмотранспортирования (б) узких фракций шлака и кварцевого песка ( $2,65-4,7$  г/см<sup>3</sup>).

Основу акустического прогнозирования составляют зависимости размеров частиц ( $d$ , м):

при струйном измельчении:

$$\begin{aligned} \lg d &= 0,5 \lg A + 1,3, \text{ доменный шлак;} \\ \lg d &= \lg A + 0,81, \text{ кварцевый песок;} \\ \lg d &= 0,49 \lg A + 0,37, \text{ цирконовый концентрат;} \end{aligned}$$

при пневмотранспортировании

$$\begin{aligned} \lg d &= 0,67 \lg A + 0,66, \text{ доменный шлак;} \\ \lg d &= 1,15 \lg A - 0,1, \text{ кварцевый песок.} \end{aligned}$$

В области прогнозирования размера частиц в диапазоне  $10^{-3}-10^{-5}$  м и амплитуд в диапазоне  $10-10^3$  мВ коэффициент корреляции составляет  $R > 0,9$ .

## Підготовчі процеси збагачення

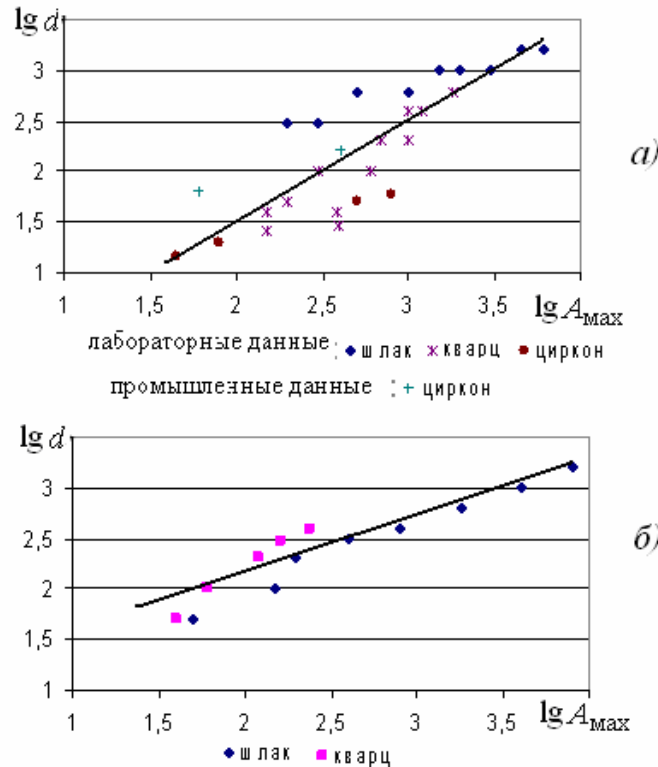


Рис. 4. Связь размеров частиц  $d$  (мкм) с амплитудой  $A$  (мВ) акустических сигналов в условиях лабораторного и промышленного струйного измельчения (а), а также пневмотранспортирования (б) материалов

При исключении влияния фактора плотности материала в задачах прогнозирования экспериментальные данные связи размера частиц с амплитудой акустических сигналов можно обобщить следующими уравнениями: при струйном измельчении  $\lg d = 0,97 \lg A - 0,4$  при  $R = 0,87$  и при пневмотранспортировании  $\lg d = 0,54 \lg A + 1$ ,  $R = 0,9$ .

### Выводы

Исследования показали, что основой поддержания требуемого гранулометрического состава и дисперсности готового продукта является акустический мониторинг работы струйной мельницы. Акустические исследования необходимы для моделирования процесса струйного измельчения и могут служить базой для управления этим процессом на основе обработки данных акустического мониторинга. Выявленные зависимости акустических параметров от гранулометрических характеристик исходного материала и удельной поверхности полученных продуктов предлагается использовать для контроля качества получаемых порошков струйным измельчением.

### Список литературы

1. Бовенко В.Н. Синергетические эффекты и закономерности релаксационных колебаний в состоянии предразрушения твердого тела: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. Наук. – М.: **Збагачення корисних копалин, 2014. – Вип. 58(99)-59(100)**

МИЭМ, 1990. – 30 с.

2. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Днепр-ск: НГУ, 2004. – 35 с.

3. Бовенко В.Н., Горобец Л.Ж. Дискретно-волновая природа диспергирования // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №1. – С. 7-9.

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.

5. Исследование акустоэмиссионных свойств природных материалов в режиме высоких давлений / Л.Ж.Горобец, В.Н. Бовенко, С.Б. Дуброва и др. // Физика и техника высоких давлений. – 1995. – №3. – С. 65-73.

6. Прядко Н.С. Акустические исследования струйного измельчения / Н.С. Прядко // LAP LAMBERT Academic Publishing. – OmniScriptum GmbH&Co.Kg. – 2013. – Saarbrucken Germany. – 172 с.

7.Прядко Н.С. Акустико-эмиссионный мониторинг процесса струйного измельчения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – № 6. – С. 46-52.

8. Параметры акустического излучения промышленной газоструйной установки / П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, В.Н. Бовенко и др. // Вестник нац. техн. ун-та " ХПИ" . – 2007. – Вып. № 27. – С. 33-41.

9. 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.

© Прядкова Н.С., Горобец Л.Ж., Краснопер В.П., Самофал И.В., 2014

*Надійшла до редколегії 21.10.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*