УДК 533.95

Прядко Н. С., Горобец Л. Ж.

АКУСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Проблема автоматического регулирования процесса струйного измельчения связана с наблюдением за состоянием загрузки струй материалом и скоростью соударений частиц в зоне помола, влияющих на эффективность образования новой поверхности [1].

Существуют различные режимы загрузки струй измельчаемым материалом:

– режим загрузки твердой фазой, при котором ускорение частиц и их соударения происходят в условиях высокой концентрации частиц твердой фазы во встречных струях и сравнительно невысоких скоростях соударений частиц;

– рабочий режим устойчивого и эффективного измельчения при оптимальных концентрациях и высоких скоростях частиц твердой фазы;

– режим разгрузки струй, при котором уменьшается заполнение струй материалом (менее оптимального), но еще сохраняется достаточно высокая скорость удара частиц при столкновениях, т. е. режим, при котором измельчение происходит уже недостаточно эффективно за счет меньшей вероятности соударений;

– режим перегрузки струй материалом, – это нерабочий режим («завал») помольной камеры, при котором резко уменьшается скорость удара частиц и наблюдается снижение производительности мельницы.

Модельные испытания были проведены на лабораторной установке струйного измельчения. Акустическую информацию получали путем измерения в зоне измельчения счета и амплитуды акустических сигналов (АС). С этой целью на свободном торце латунного волновода, введенного в помольную камеру, устанавливался широкополосный апериодический датчик (ШАД) [2]. Основные характеристики датчика следующие: полоса частот 1 кГц – 1,2МГц, неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не превосходила 10 дБ, чувствительность по давлению составляла 40–60 мкВ/Па. ШАД был присоединен к аналого-цифровому преобразователю (АЦП), а АЦП – к компьютеру. Период измерения АС – 1 с, время регистрации – 0,1 с.

Ранее проведенные исследования [1, 2] показали перспективность использования некоторых характеристик акустического излучения при струйном измельчении (число АС в единицу времени, амплитуды сигналов и их распределение по величине) для получения информации о характерных размерах частиц в струе, их гранулометрическом составе, степени загрузки струй материалом. При различных режимах работы струйной мельницы, отличающихся степенью загрузки струй твердой фазой, наблюдаются различия на порядок амплитуд акустических сигналов (АС), измеряемых в зоне помола.

Наиболее информативными параметрами акустического мониторинга [3] являются скорость счета (или активность АЭ) $\dot{N}$, суммарный счет импульсов N за выбранный промежуток времени, максимальная амплитуда A АЭ и ее распределение по величине и некоторые другие закономерности, установленные по следующей методике.

Запись АС анализировалась в разные моменты технологического процесса измельчения, характеризующие различные состояния загрузки струй материалом: начальная стадия подачи материала в струю (τ = 3–8 с), период интенсивного измельчения (рабочий режим, τ = 30–210 с) и заключительную стадию разгрузки струй – режим «холостого хода», предва-

ряющего режим фонового шума струи (τ = 230–300 с). Определялись суммарный счет всех АС различных амплитуд и величина характерной (средневзвешенной) амплитуды A^{cp} за период регистрации. При расчете A^{cp} учитывались сигналы с долевым участием более 1 %. При этом из общего количества N_{Σ} сигналов исключалось число N_x АС фонового шума (режим шума струи без подачи твердой фазы). В этой связи величина активности $\dot{N} = (N_{\Sigma} - N_x) / \tau$ (имп/с) акустического излучения характеризует, по сути, реальное число соударений частиц с волноводом.

Целью данной работы является обоснование применения акустической информационной технологии для диагностики работы струйной мельницы и повышения эффективности процесса измельчения.

На рис. 1 показана кинетика амплитудных распределений сигналов АЭ зоны помола в различных режимах загрузки струй, т. е. режимах с различной эффективностью струйного измельчения.

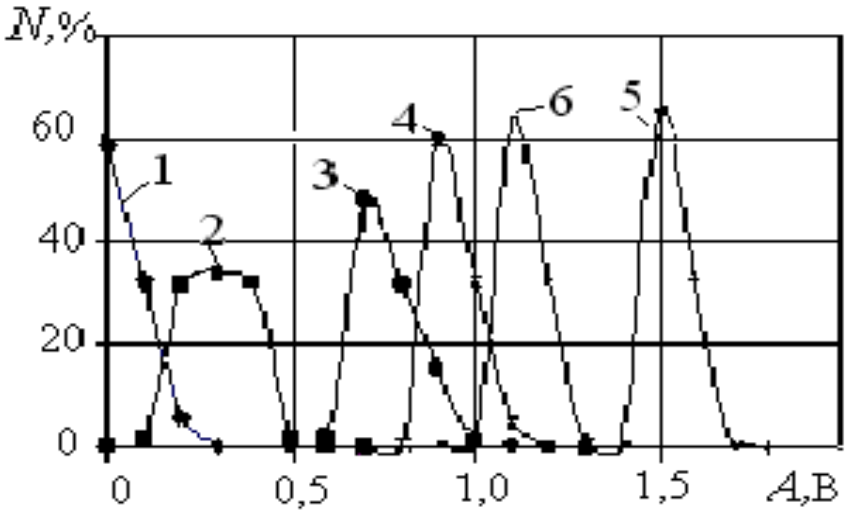

Рис. 1. Кинетика амплитудных распределений сигналов АЭ зоны помола: время (t, с) от начала загрузки материала: 1–8; 2–30; 3–50; 4–120; 5–200; 6–230

На рис. 1 видна трансформация графиков 1–6 при переходе из одной стадии в каждую последующую, так что по мере разгрузки струй в рабочих режимах распределение амплитуд теряет полимодальность в результате уменьшения и сближения размеров измельченных частиц. Выход из рабочего режима в разгрузочный режим струй за счет удаления готового продукта в циклон характеризуется возвратом амплитудного распределения в область меньших значений: график 5 – A^{cp} = 1,5 В; график 6 – A^{cp} = 1,1 В. Таким образом, спад значений амплитуды АС A^{cp} указывает на начало разгрузки струй и соответственно снижение эффективности измельчения. Это может стать сигналом подачи следующей порции материала в струю для поддержания оптимального рабочего режима измельчения.

На рис. 2 иллюстрируется закономерное изменение амплитудных характеристик АС на изученных стадиях измельчения, начиная с подачи материала в струю (τ менее 1 мин) и до состояния разгрузки струй (τ более 3 мин), обусловленной выносом готового продукта из системы помола-классификации. Величина максимальных амплитуд АС в оптимальном режиме составляет 1,8–2,1 В, тогда как в режиме начинающейся разгрузки струй – 1,5–1,6 В, и тем более, в начале подачи и разгона большой массы частиц – 0,2–0,4 В.

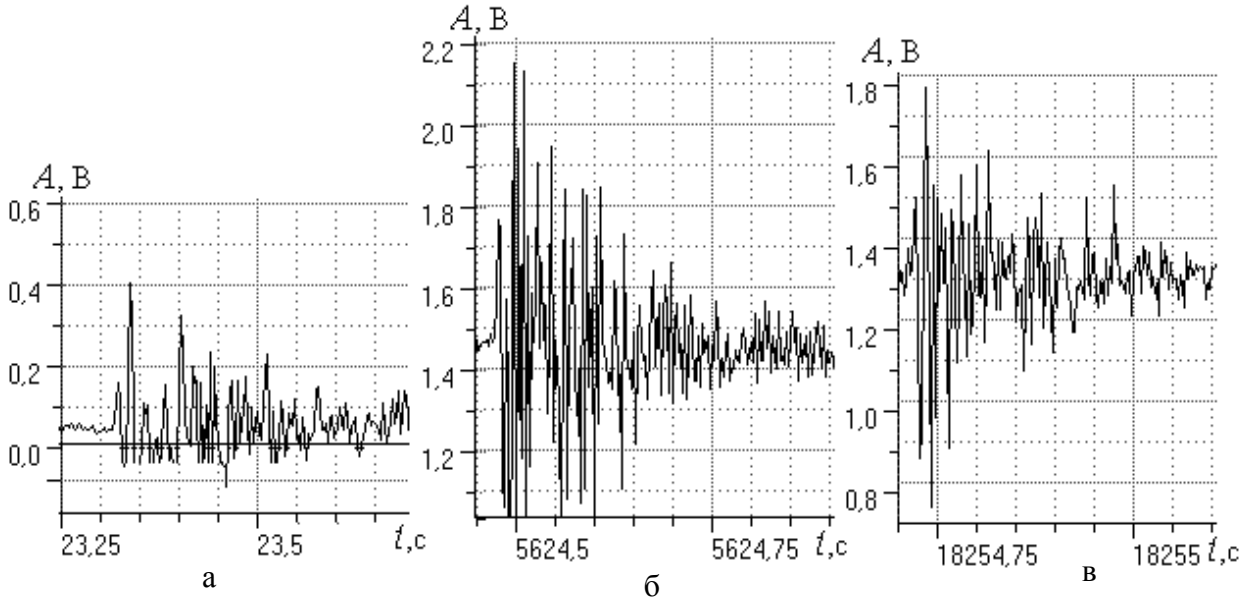

Рис. 2. Изменение амплитудных характеристик акустических сигналов в различных режимах загрузки струй материалом (шамот, размеры частиц d = 3–0,5 мм):

а – подача материала ($t \leq$ 1мин); б – рабочий режим ($t \approx$ 2 мин); в – струй ($t >$ 3 мин)

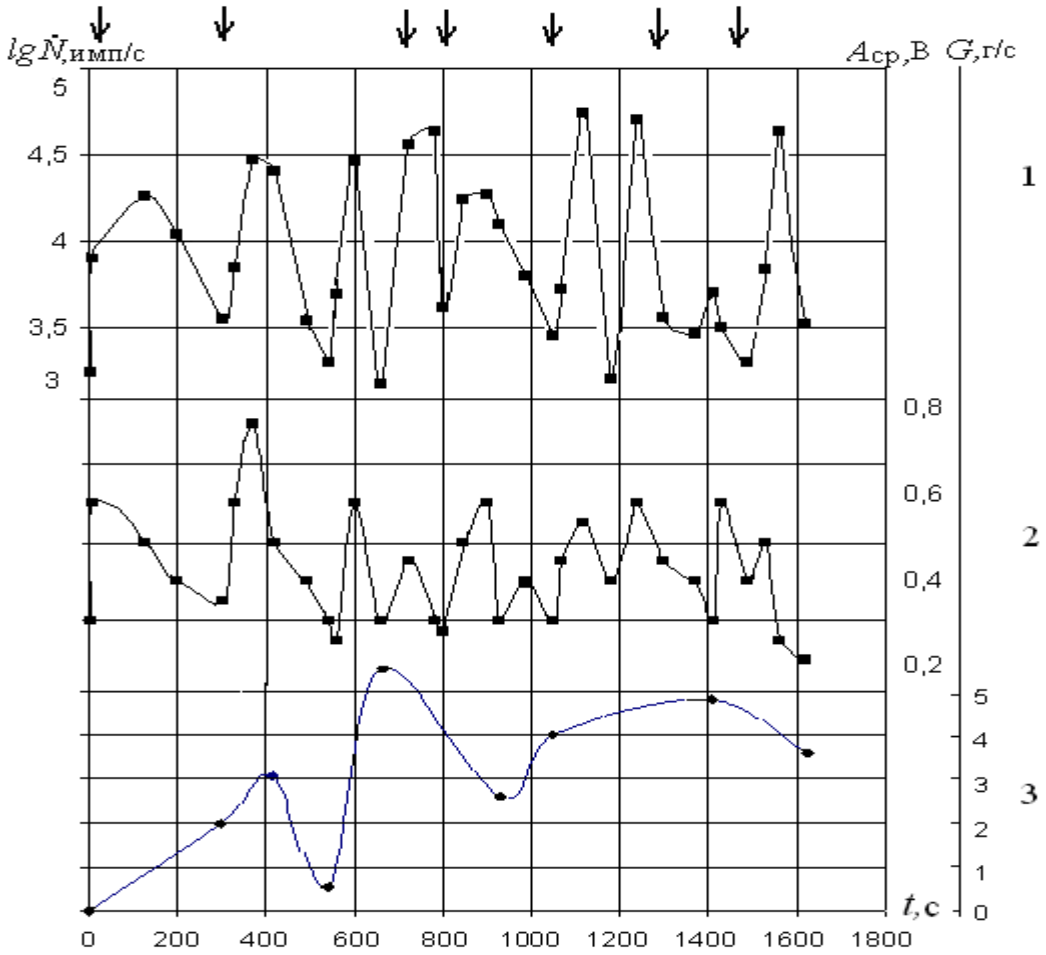

Рис. 3. Кинетика активности излучения $lg\,\dot{N}$ (имп/с) (1), характерных амплитуд АС A^{cp} (В) (2) и производительности G (г/с) (3) процесса измельчения шамота

На рис. 3 сопоставлены во времени зависимости производительности G (г/с) мельницы, акустической активности $\dot{N}$ (имп/с) зоны помола (в логарифмических координатах) и характерной (средневзвешенной) амплитуды АС при загрузке ряда порций измельчаемого материала – шамота (исходная крупность 0,5–3,0 мм). Подача соответствующих порций массой в 1,0 кг обозначена стрелками.

Можно сопоставить максимальные уровни производительности и акустической активности при измельчении шамота: $lg\,\dot{N}$ = 4,5–4,7 (1), G = 4–5,5 г/с (2), тогда как в других малоэффективных режимах эти величины меньше: $lg\,\dot{N}$ = 4,1–4,2 , G = 2–3 г/с.

ВЫВОДЫ

Основу информационной акустической технологии диагностики процесса струйного измельчения могут составить следующие принципы:

1. Изменение размеров частиц в процессе струйного измельчения приводит к изменению значений амплитуд сигналов АЭ при соударениях частиц с волноводом.

2. Изменение плотности потока частиц в струях, от которой зависит вероятность столкновения частиц, сопровождается изменением скорости счета – активности $\dot{N}$ АЭ.

3. Изменение режима загрузки струй (начало подачи материала, рабочий режим, разгрузка струй) обусловливает изменение амплитудного распределения акустических сигналов. При этом переход амплитудного распределения АС в область меньших значений амплитуд можно рассматривать как начало разгрузки струй.

4. Для поддержания высокой эффективности струйного измельчения при получении информации о начале разгрузки струй на основе пункта 3 необходимо осуществлять своевременную загрузку новой порции материала.

5. Повышение уровня акустической активности зоны помола на любой стадии является положительным фактором процесса измельчения, поскольку выход разрушенного продукта при прочих равных условиях (крупности частиц, скорости удара, параметрах энергоносителя) прямо пропорционален числу соударений частиц.

Считаем целесообразным применение установленных закономерностей в акустоэмиссионном мониторинге процесса струйного измельчения с целью разработки автоматической системы управления работой струйных измельчительных установок для получения высокодисперсных порошков из любых сыпучих твердых материалов [4].

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Параметры акустического излучения промышленной газоструйной установки / Пилов П. И., Горобец Л. Ж., Бовенко В. Н., Щербаков А. Е., Прядко Н. С., Верхоробина И. В. // Вестник нац. техн. ун-та «ХПИ». – Харьков, 2007. – Вип. № 27. – С. 33–41.

3. Связь между параметрами акустических сигналов и размерами разрывов сплошности при разрушении гетерогенных материалов / Д. И. Фролов, Р. Ш. Килькеев, В. С. Куксенко, С. В. Новиков // Механика композитных материалов. – Рига : Зинатне. – 1980. – № 5. – С. 907–911.

4. Акустическое исследование измельчаемости гетерогенных материалов струйным способом / Пилов П. И., Горобец Л. Ж., Бовенко В. Н., Прядко Н. С. – ЗКК, 2008. – № 34 (75). – С. 67.