

СИСТЕМА АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ГАЗОСТРУЙНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Предложена система анализа акустических сигналов зоны измельчения струйной мельницы, основанная на установленных критериях и акустических параметрах работы мельницы. Для контроля качества получаемого продукта система дополнена показателями вейвлет - анализа и преобразования Гильберта-Хуанга акустических сигналов зоны измельчения

Запропоновано систему аналізу акустичних сигналів зони дрібнювання струминного млина, засновану на встановлених критеріях і акустичних параметрах роботи млина. Для контролю якості одержуваного продукту система доповнена показниками вейвлет - аналізу й перетворення Гільберта-Хуанга акустичних сигналів зони дрібнювання

The system of the acoustic signals analysis of a crushing zone of the jet mill, based on the established criteria and acoustic parameters of mill operating is offered. For quality assurance of a received product the system is added with parameters of the wavelet-analysis and Hilbert-Huang transformation of acoustic signals of a crushing zone

Струйное измельчение сыпучих материалов применяется для получения тонкодисперсных порошков при переработке полезных ископаемых. Однако, этот способ дезинтеграции минерального сырья отличается большой энергоемкостью при получении тонких порошков, что вызывает необходимость установления и поддержания наиболее эффективного режима измельчения.

Известные способы оптимизации процесса измельчения путем контроля температуры и разрежения по тракту струйной мельницы обладают значительной погрешностью и запаздыванием при оценке производительности и энергопотребления струйной мельницы. Знание физических закономерностей диспергирования и накопленный опыт экспериментальных исследований работы струйных мельниц [1, 2] позволяет использовать акустические сигналы зоны помола для разработки принципов оптимизации этого процесса. В число важных акустических параметров включена скорость счета \dot{N} и амплитуда акустических сигналов (АС). Проведенные исследования позволили установить связь технологических и акустических параметров струйного измельчения. Производительность струйной мельницы значительно изменяется в зависимости от степени загрузки струй материалом. Избыточное или недостаточное количество твердой фазы в струе приводит к отклонению от оптимального уровня ведущих параметров измельчения: скорости и частоты соударений частиц, что обуславливает уменьшение производительности мельницы при прочих равных условиях (параметры энергоносителя, режим работы классификатора и пневмотранспортной системы).

На основе установленных зависимостей акустических параметров зоны струйного помола от показателей измельчения проводится последующий анализ акустической информации о состоянии струй и регулирования загрузки измельчаемого материала. Контроль качества измельченного продукта возможен на основе анализа значений амплитуд акустических сигналов. Показателем аку-

стической активности с максимальными значениями амплитуд акустических сигналов в рабочей зоне помола можно отслеживать энергонапряженность разрушения при соударениях частиц в процессе струйного измельчения.

Цель данной работы – разработка системы анализа АС газоструйной мельницы, позволяющей контролировать ее работу и дисперсность получаемого продукта.

Для мониторинга моментов технологических отклонений от нормы процесса измельчения, приводящих к снижению производительности мельницы, предложены акустические критерии, величина которых при перегрузке струй уменьшается, что указывает на рост энергоемкости процесса. Опробование акустического мониторинга струйных мельниц различного типоразмера показало перспективность его использования для задач оптимизации измельчения. Установлена связь технологических параметров процесса измельчения с акустическими параметрами мониторинга зоны измельчения. В ходе исследований выявлены акустические критерии эффективности, оптимальности и энергоемкости процесса измельчения.

Для анализа процесса измельчения использован критерий эффективности процесса измельчения $K_{эфф} = G / \dot{N}_{\Sigma}$, (г/имп), акустические показатели энергоемкости измельчения $\mathcal{E}_{изм}$ (имп/г) и энергоемкости диспергирования $\mathcal{E}_{дисп}$ (имп/см²). Экспериментально установлено, что величина акустических критериев эффективности в моменты перегрузки струй уменьшается, а показателей энергоемкости соответственно возрастает.

На рис. 1 показано изменение производительности (а), коэффициента эффективности (б) и акустических показателей энергоемкости измельчения $\mathcal{E}_{изм}$ и диспергирования $\mathcal{E}_{дисп}$ (в) при промышленном струйном измельчении циркона на Вольногорском горно-металлургическом комбинате. При изменении производительности мельницы в пределах 336 – 1225 кг/ч коэффициент эффективности изменялся от $4 \cdot 10^{-3}$ до $0,67 \cdot 10^{-3}$, причем максимальной производительности в рабочем режиме измельчения соответствовали максимальные значения критерия эффективности при различной крупности готового продукта (63 мкм и 45 мкм). В ходе промышленного опробования акустического мониторинга процесса в периоды нарушения оптимальной работы мельницы при уменьшении производительности в 2-3 раза ($t \approx 45$ мин) критерий эффективности уменьшается (вдвое), а энергоемкость измельчения увеличивается втрое.

Экспериментальные исследования показали, что эффективность процесса струйного измельчения, зависящая от наполнения струй материалом, достаточно хорошо коррелирует с выведенными акустическими показателями. На этой основе разрабатывается система оптимизации процесса с целью управления производительностью мельницы.

Для комплексного изучения акустических сигналов струйного измельчения и создания системы их анализа был проведен ряд исследований по поиску наиболее эффективных методов оценки АС. Вейвлет-анализ сигналов струйной мельницы на стадии разгрузки при измельчении различных материалов (уголь,

циркон, шлак) показал, что стандартные отклонения детализирующего вейвлета - коэффициента первого уровня практически не отличаются.

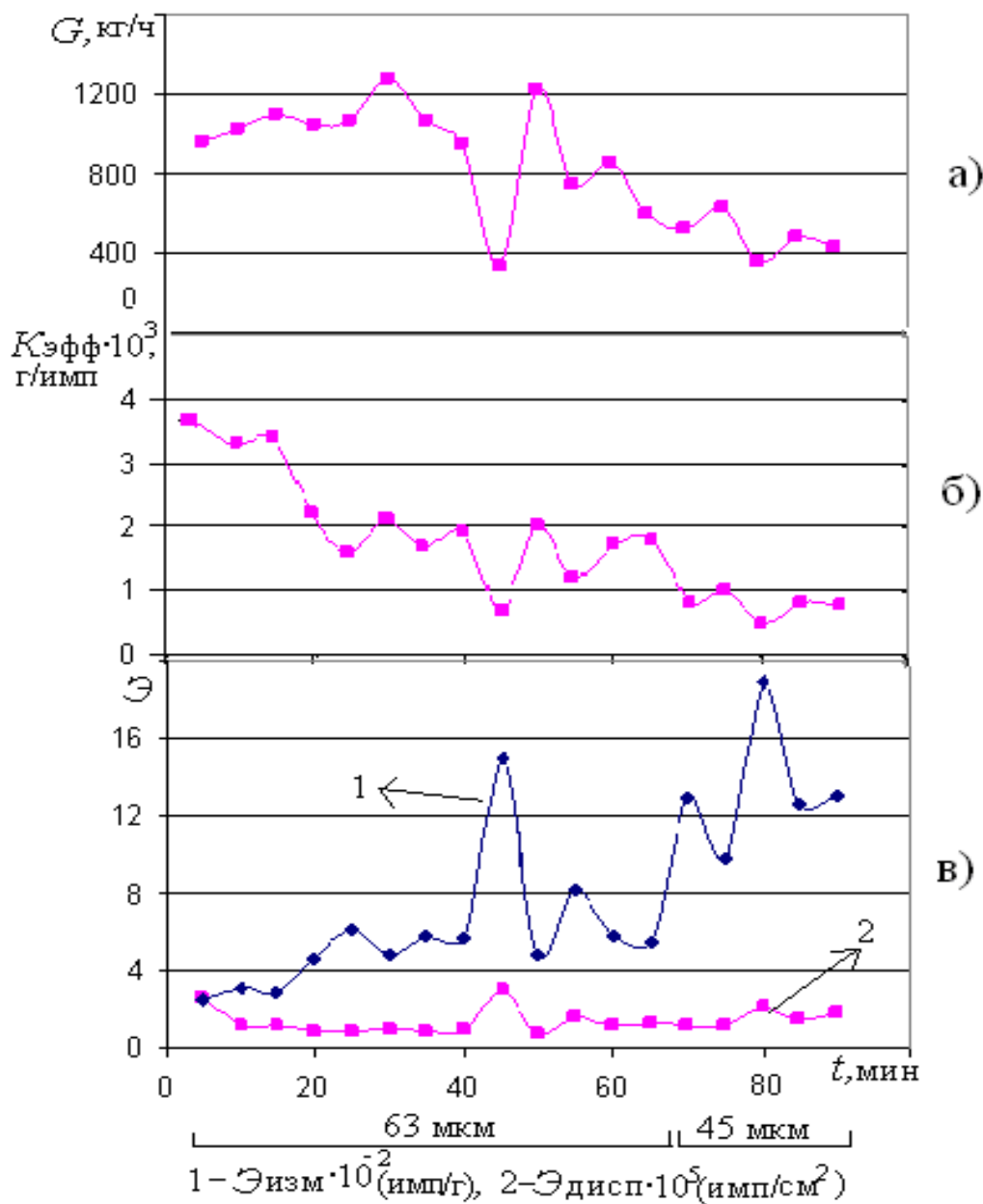


Рис. 1. Кинетика производительности и акустических показателей эффективности и энергоемкости струйного измельчения циркона на промышленной мельнице ВГМК

Исследованиями данных акустического мониторинга процесса струйного измельчения установлено, что вейвлет-коэффициенты АС двух различных режимов (рабочий, разгрузка) различаются на порядок. Таким образом, выбранный метод пригоден для установления оптимального режима загрузки струи материалом с позиций производительности мельницы, что позволяет дополнить информацией алгоритм управления загрузкой мельницы при струйном измельчении сыпучих материалов различной крупности.

Дальнейшие исследования были направлены на контроль качества получаемого продукта. Анализ акустических сигналов показал отличие значений вейвлет – коэффициентов в 1,5 раза при получении кварцевого песка ВГМК различной дисперсности. Для материалов отличающихся плотностью и крупностью эти величины также различаются на 50–100 % [3].

Наряду с вейвлет-анализом сигналов зоны был применен метод, основанный на преобразовании Гильберта-Хуанга (ННТ) [4], который заключается в применении к исследуемому процессу эмпирической модовой декомпозиции, а затем Гильбертова спектрального анализа. Этот метод дает возможность проведения частотно-временного анализа данных.

Преобразование Гильберта действительной функции $x(t)$, $-\infty < t < \infty$ есть действительная функция определенная как

$$\tilde{x}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{1-\tau} d\tau .$$

Данное преобразование изменяет фазу всех частотных составляющих сигнала $x(t)$ на $\pi / 2$. Это делает сигнал $x(t)$ ортогональным $\tilde{x}(t)$, что позволяет сформировать из сигналов комплексный аналитический сигнал $z(t)$

$$z(t) = x(t) + j\tilde{x}(t) .$$

Для определения текущих временных параметров акустических сигналов необходимо разложить их на несколько моногармонических составляющих, удовлетворяющих условию симметричности. Эта задача решена методом Н. Хуанга, который еще называется методом «эмпирической модовой декомпозиции сигналов» и представляет собой адаптивную итерационную вычислительную процедуру разложения исходного сигнала на эмпирические моды.

Установлены зависимости вейвлет-коэффициентов и показателей преобразования Гильберта-Хуанга (ННТ) от вида, плотности и дисперсности материала. Анализ акустических сигналов измельчения цирконового концентрата на промышленной мельнице ВГМК показал, что все показатели Гильберта-Хуанга и вейвлет-преобразований уменьшаются при увеличении удельной поверхности продукта измельчения (см. табл. 1, 2). Показатель плотности мощности спектра

Т а б л и ц а 1

Показатели Гильберта-Хуанга для АС струйной мельницы ВГМК

S_{yd} , см ² /г	Амплитуда огibaющей	Плотность мощности Спектра Гильберта	Стандартное отклонение амплитуды
1600	0,000063	0,000005	0,000065
2017	0,001159	0,000003	0,001322
2040	0,003061	0,000016	0,003355
2570	0,003566	0,000028	0,004019

Гильберта по сравнению с другими показателями максимально коррелирует с различием удельной поверхности материала в рабочем режиме.

Т а б л и ц а 2

Вейвлет коэффициенты для АС струйной мельницы ВГМК

$S_{уд},$ см ² /г	cD1	cD2	cD3
1600	0,000181	0,000175	0,000173
2017	0,011457	0,013505	0,008993
2040	0,013351	0,014075	0,012574
2570	0,033723	0,015545	0,014982

Таким образом, предложенная система анализа акустических сигналов процесса струйного измельчения, которая основана на использовании акустических показателей и применении преобразования Гильберта-Хуанга и вейвлет - анализа, позволяет контролировать режим работы струйной мельницы и дисперсность получаемого продукта на базе результатов акустического мониторинга процесса. Дальнейшая разработка системы оптимизации работы струйной мельницы с использованием акустического мониторинга зоны измельчения позволит повысить эффективность струйного измельчения и контролировать качество измельченного продукта.

Список литературы

1. Характеристики дисперсности продуктов струйного измельчения / Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, В. П. Краснопер, Л. А. Цыбулько, П. А. Бакум // ЗКК НГУ. – Днепропетровск. – 2010. – № 41 – 42 (81). – С. 110 –121.
2. Прядко Н.С. Акустико-эмиссионный мониторинг процесса струйного измельчения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль 2012. – № 6. – С. 46 – 52.
3. Михалёв А.И., Прядко Н.С., Сухомлин Р.А. Вейвлет-анализ акустических сигналов процесса струйного измельчения //Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (80). - Днепропетровск, 2012. – С. 122-127.
4. The Hilbert-Huang transform and its applications /Editors: Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. - World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5, Toh Tuck. - Link, Singapore.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.
Надійшла до редакції 11.11.2013*