

УДК 622.7

А.В. ПРЯДКО, Л.В. МУЗЫКА

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

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Постановка проблемы. Важной задачей тонкого измельчения является контроль загрузки зоны помола мельницы. Струйные измельчительные установки характеризуются достаточно высоким энергопотреблением, поэтому контроль и управление режимами измельчения является актуальной проблемой.

Анализ последних достижений и публикаций. Для исследования струйного измельчения сыпучих материалов используется метод акустической эмиссии. Разработана методика и аппаратная база акустического мониторинга зоны измельчения и классификации лабораторной и промышленной мельниц [1]. Предложены методы идентификации режимов работы струйной мельницы на основе акустического мониторинга процесса [2, 3]. В работах [4, 5] установлены взаимосвязи технологических и акустических параметров сигналов зоны помола. Показано, что акустические сигналы, фиксированные при измельчении различных материалов, имеют подобный характер, однако отличаются количественно. Для контроля и управления режимами измельчения нового исходного материала необходимо использовать либо созданную базу данных акустического мониторинга [6], либо проводить пробные установочные экспериментальные измельчения предлагаемого материала [7]. Разработан метод контроля режима загрузки струй материалом на основе акустических характеристик сигналов зоны помола [8].

Цель работы – установление связи статистических характеристик акустических сигналов зоны измельчения струйной мельницы с режимами процесса.

Изучались сигналы, фиксируемые при измельчении четырех типов материала: кварц крупный, кварц мелкий, циркон, измельченный на лабораторной мельнице УСИ-20 и циркон, измельченный на промышленной мельнице Вольногорского горнометаллургического комбината (ВГМК). Сигналы, записываемые в ходе непрерывного акустического мониторинга, рассматривались за интервал 1с, частота их регистрации 400 кГц. Выбраны сигналы трех режимов измельчения: загрузки струй материалом, рабочего режима и разгрузки мельницы.

На рис. 1 показаны амплитудно-частотные характеристики исходных сигналов зоны измельчения.

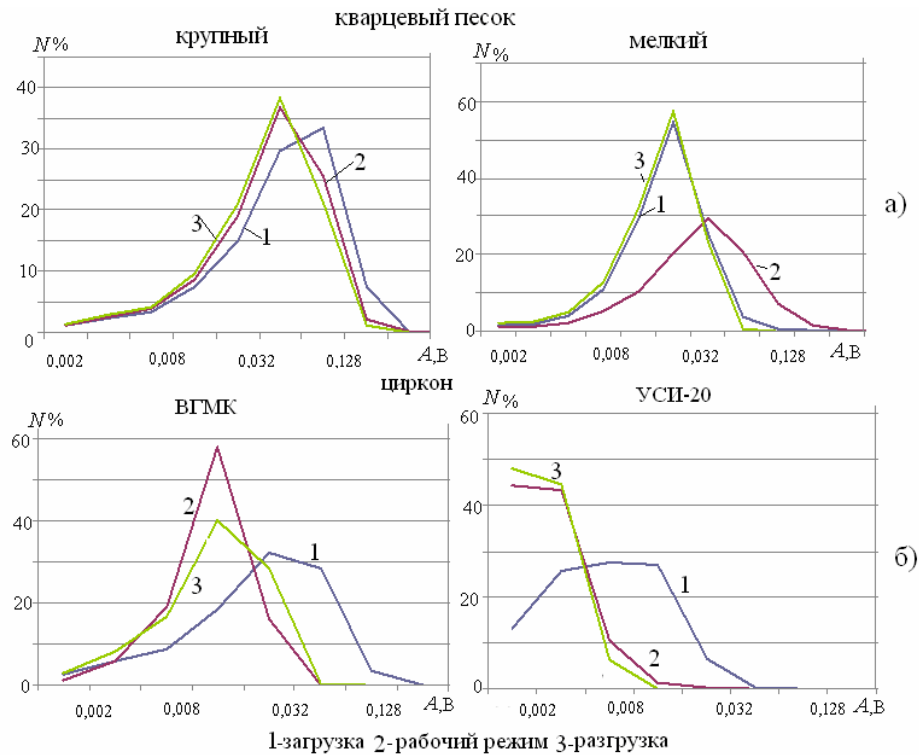


Рис. 1. Исходное амплитудное распределение сигналов мониторинга трех режимов измельчения кварцевого песка (крупного и мелкого) (а) и циркона (б) в промышленной (ВГМК) и лабораторной (УСИ-20) мельницах

Анализ амплитудных распределений акустических сигналов зоны измельчения при лабораторном и промышленном измельчении различных материалов позволил создать базу данных эталонных сигналов, идентифицирующих режимы работы мельниц. В таблице показаны основные параметры сигналов при измельчении шлака, кварцевого песка и циркона. Эти материалы отличаются плотностью, измельчаемостью, размером частиц измельченного продукта. Эти свойства влияют на контрольные величины амплитуды и активности акустических сигналов.

На основе базы данных, разработанного алгоритма и методики контроля режимов работы мельницы можно успешно идентифицировать режимы работы мельницы и указать на своевременную загрузку струй конкретного материала. Проверка созданной программы контроля режимов работы струйной мельницы [9] по величине амплитуды акустических сигналов зоны помола показала хорошее совпадение с экспериментальными результатами. Однако, согласно исследованиям, невозможно выделить единый количественный параметр управления измельчением различных материалов, т.к. амплитуда и активность сигналов зависит от свойств измельчаемого материала и технологических условий измельчения (табл. 1).

Технологические и акустические характеристики
струйного измельчения материалов

Режим	Загрузка	Рабочий режим	Разгрузка
<u>Шлак</u> , $d_{изм} = 2,5 - 0,04$ мм, $\rho = 2,9$ г/см ³			
$A_{контроль}$, мВ	4 – 8		
N	$N < 20$	$N < 26$	$44,5 < N < 45,5$
$N_{контроль}$	44		
<u>Кварцевый песок</u> , $d_{изм} = 2,0 - 0,04$ мм, $\rho = 2,65$ г/см ³			
$A_{контроль}$, мВ	32 – 64		
N	$N < 31$	$N < 36$	$37,5 < N < 39,2$
$N_{контроль}$	37		
<u>Циркон</u> , $d_{изм} = 0,16 - 0,063$ мм, $\rho = 4,65$ г/см ³			
Промышленная мельница (ВГМК)			
$A_{контроль}$, мВ	8 – 16		
N	$N < 19$	$N < 56$	$57,5 < N < 60,5$
$N_{контроль}$	57		
Лабораторная мельница УСИ-20			
$A_{контроль}$, мВ	2 – 4		
N	$N < 28$	$N < 45,4$	$46,2 < N < 48$
$N_{контроль}$	46		

В связи с этим был продолжен анализ статистических характеристик амплитуд сигналов акустического мониторинга высших порядков.

Рассмотрены математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициент эксцесса и асимметрии, характеризующие отклонение и разброс данных. Результаты вычисления статистических характеристик сигналов трех режимов работы мельницы при измельчении кварцевого песка приведены на рис. 2. Аппроксимация уравнений математического ожидания, дисперсии экспериментальных данных акустических сигналов рабочего режима процесса измельчения кварцевого песка имеет вид:

$$M(A) = -0,0003t^2 - 0,0002t + 0,075, \text{ (коэффициент корреляции } R_M = 0,83);$$

$$D(A) = -0,000t^2 + 0,002t + 0,002, \text{ (} R_D = 0,79).$$

Аналогичные зависимости получены для данных мониторинга струйного измельчения кварцевого мелкого песка и цирконового концентрата, измельченного в мельницах различного типоразмера, представленные в табл. 2.

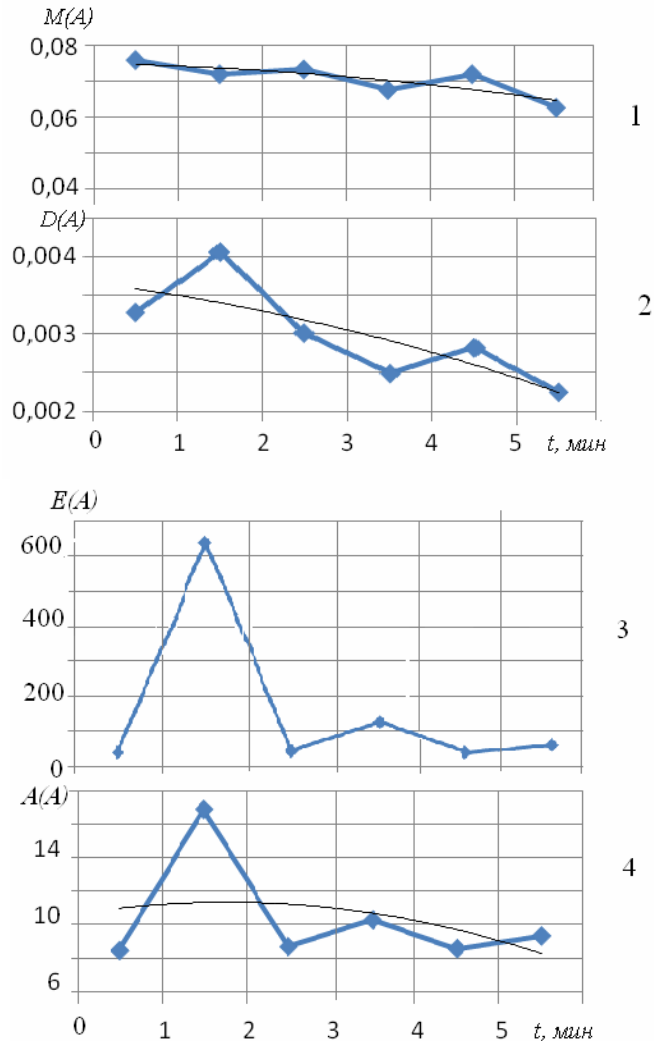


Рис. 2. Изменение статистических величин характеристик акустических сигналов рабочего режима процесса измельчения кварцевого песка: математического ожидания (1), дисперсии (2), эксцесса (3) и асимметрии (4).

Анализ статистических характеристик акустических сигналов струйного измельчения различных исследуемых материалов показал, что уравнения характеристик первого порядка для сигналов, записанных при измельчении материалов различны, более того кривые статистических характеристик одного материала, но измельченного в мельницах различного типоразмера, также отличаются.

На рис. 3 представлены статистические характеристики первого порядка сигналов зоны помолы струйной мельницы ВГМК и лабораторной УСИ-20 при измельчении цирконового концентрата.

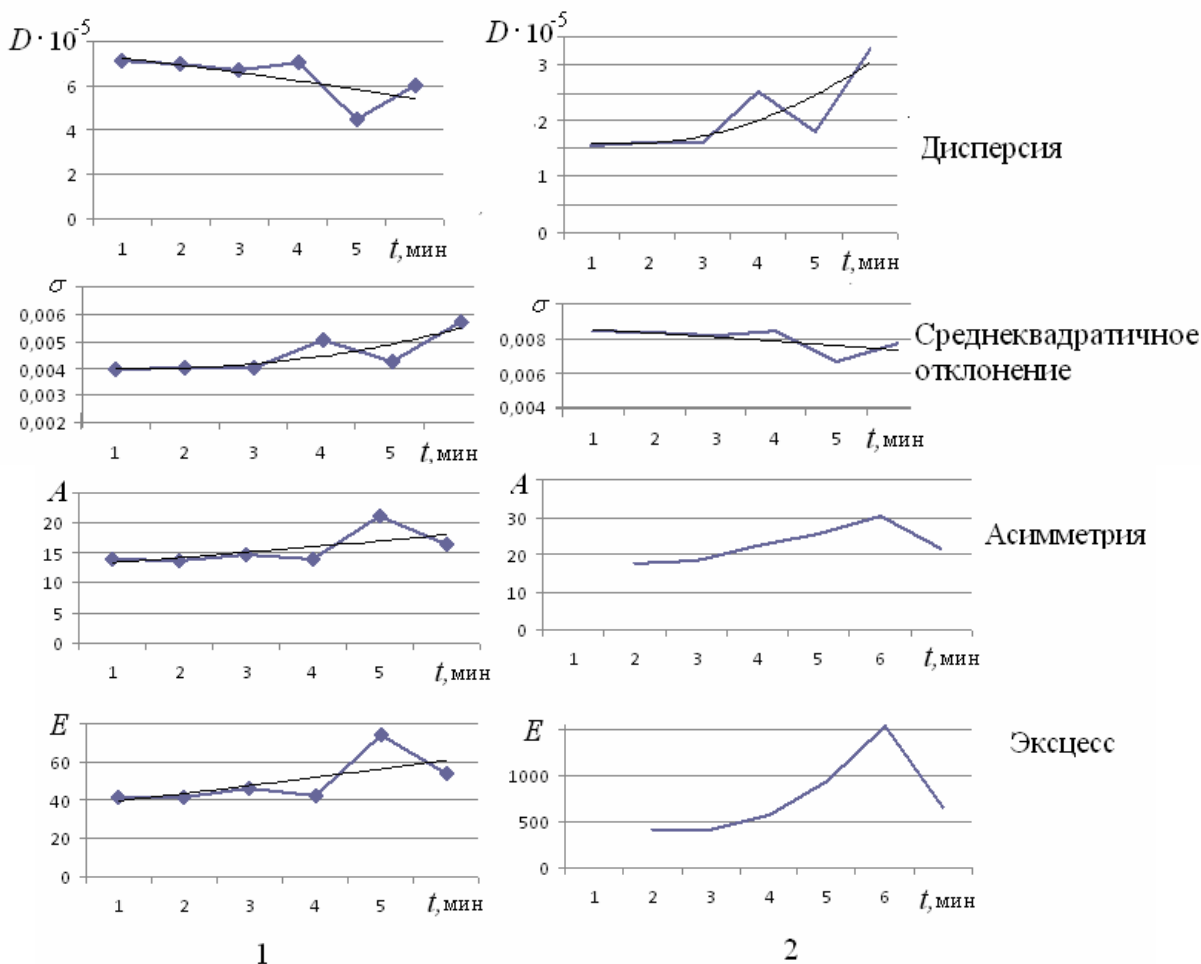


Рис. 3. Изменение статистических величин характеристик акустических сигналов рабочего режима процесса измельчения циркона в промышленной (1) и лабораторной (2) мельнице

Анализ статистических характеристик второго порядка, т.е. математическое ожидание от математического ожидания, дисперсии, среднеквадратичного отклонения, асимметрии и эксцесса (табл. 2) и дисперсия от тех же характеристик (см. табл. 3) отличаются для разных режимов измельчения одного и того же материала, однако отличаются для различных материалов. Исследования подтвердили, что нет единого значения управляющего статистического параметра для идентификации режимов измельчения различных материалов, хотя в целом статистические характеристики и первого, и второго порядка акустических сигналов зоны измельчения струйных мельниц различного типоразмера отличаются для трех рассмотренных режимов.

Таблиця 2

Математическое ожидание от характеристик сигналов
различных режимов работы мельницы

Материал	Режимы	$M(M(x))$	$M(D(x))$	$M(\sigma(x))$	$M(A)$	$M(\text{Э})$
Кварцевый песок	Загрузка	0,088	0,0046	0,067	7,87	30,86
	Рабочий	0,007	0,0031	0,055	11,20	453,61
	Разгрузка	0,065	0,0023	0,048	8,57	39,85
Циркон УСИ-20	Загрузка	0,010	7,59E-05	0,0087	9,36	120,78
	Рабочий	0,005	2,26E-05	0,005	23,40	949,15
	Разгрузка	0,004	7,86E-06	0,003	15,81	322,62
Циркон ВГМК	Загрузка	0,037	0,0008	0,028	7,64	22,59
	Рабочий	0,016	6,516E-05	0,008	16,03	52,49
	Разгрузка	0,017	0,0001	0,012	9,66	25,27
Кварц мелкий	Загрузка	0,168	0,0426	0,205	8,16	79,13
	Рабочий	0,095	0,0052	0,071	18,23	294,77
	Разгрузка	0,0812	0,00045	0,0207	101,93	776,073

Таблиця 3

Дисперсия характеристик сигналов рабочей зоны мельницы

Материал	Режимы	$D(M(x))$	$D(D(x))$	$D(\sigma(x))$	$D(A)$	$D(\text{Э})$
Кварцевый песок	Загрузка	1,67E-05	1,09E-07	5,785E-06	0,0193	21,916
	Рабочий	1,73E-05	3,691E-07	2,858E-05	12,201	69426,72
	Разгрузка	0,004	3,205E-08	0,00204	73,456	1587,99
Циркон УСИ-20	Загрузка	7,71E-07	4,69E-11	1,59E-07	1,7639	1810,87
	Рабочий	9,14E-08	4,89E-11	4,84E-07	20,163	195752,5
	Разгрузка	2,13E-09	2,6E-12	7,92E-08	4,829	19345,8
Циркон ВГМК	Загрузка	1,101E-07	1,166E-10	3,8809E-08	0,004	0,0167
	Рабочий	5,616E-08	6,982E-11	3,4203E-07	7,882	163,512
	Разгрузка	1,793E-07	1,859E-10	3,78106E-07	0,148	0,0802
Кварц мелкий	Загрузка	3,917E-06	9,480E-07	5,64301E-06	0,679	429,063
	Рабочий	3,380E-06	1,189E-06	5,49988E-05	2,876	1728,493
	Разгрузка	2,732E-08	9,214E-09	4,89843E-06	434,378	34841,92

Таким образом, для разработки программы контроля режима заполнения мельницы конкретным материалом необходимо использовать предварительные данные измельчения этого материала, т.е. использовать эталонные значения статистических параметров акустических сигналов зоны измельчения. Для упрощения вычислений выбрано математическое ожидание от амплитуды сигналов, записанных в ходе акустического мониторинга процесса измельчения.

Разработана программа контроля режимов работы мельницы. Она основана на использовании предварительных значений статистических характеристик сигналов конкретного материала. После выбора нужной начальной величины параметра математического ожидания M_0 , все поступающие данные анализируются, вычисляются статистические величины и сравниваются с заданным

Підготовчі процеси збагачення

еталоном. При досягненні контрольної величини, подається сигнал на загрузку, т.е. замигається напис "ЗАГРУЗКА".

Програма була протестирована на нових сигналах процесса измельчения материалов: кварцевый песок, шлак и циркон. Отмечено хорошее совпадение при идентификации режимов.

Выводы

Проведен анализ статистических характеристик первого и второго порядка акустических сигналов зоны измельчения, записанных в ходе акустического мониторинга измельчения кварцевого песка и циркона лабораторной и промышленной струйных мельниц. Исследования показали возможность идентификации режимов измельчения для конкретных материалов с использованием эталонных значений статистических параметров. Создана программа контроля режима работы мельницы на основе анализа математического ожидания от амплитуды сигналов, записанных в ходе акустического мониторинга процесса измельчения.

Список литературы

1. Прядко Н.С. Акустико-эмиссионный мониторинг процесса струйного измельчения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – № 6. – С. 46-52.
2. Прядко Н.С. Акустические исследования струйного измельчения // LAP LAMBERT Academic Publishing. – Saarbrücken Germany, 2013. – 172 с.
3. Прядко Н.С. Информационные технологии для управления тонким измельчением / Н. С. Прядко, Г. А. Стрельников // Техническая механика. – 2014. – №4. – С. 118-125.
4. Горобец Л.Ж., Бовенко В.Н., Прядко Н.С. Акустический метод исследования процесса измельчения // Обогащение руд. – 2013. – № 3. – С. 30-37.
5. Горобец Л.Ж., Прядко Н.С. Акустические параметры оптимизации процесса струйного измельчения // Зб. наук. праць ПолНТУ. – 2012. – Вип. 2(32). – С. 128-136.
6. Прядко Н.С., Буланая Т.М. Использование данных информационной системы акустического мониторинга струйного измельчения для управления процессом // Вісник ДНУЗТ ім. Лазаряна. – 2012. – Вип. 42. – С. 129-133.
7. Акустический мониторинг работы струйных мельниц различного типоразмера / П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, Н.С. Прядко и др. // Вестник НТУ "ХПИ". – 2011. – Вып. 50. – С. 3-10.
8. Патент на винахід 98405 Україна, МПК В02С 25/00. Спосіб регулювання газоструминного подрібнення / Пілов П.І., Горобець Л.Ж., Коваленко М.Д., Стрельников Г.О., Прядко Н.С.; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. – а 201100939; заявл 28.01.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. – 4 с.
9. Мещеряков Л.И., Новодранова В.А., Прядко А.В. Методика контроля режимов работы струйной мельницы // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 55(96) – С. 46-50.

© Прядко А.В., Музыка Л.В., 2015

*Надійшла до редколегії 15.07.2016 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець*