

**П.И. ПИЛОВ, Л.Ж. ГОРОБЕЦ**, д-ра техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет),

**Н.С. ПРЯДКО**, канд. техн. наук

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

**Ю.Г. СОБОЛЕВСКАЯ**, канд. техн. наук

(Украина, Львов, Львовский филиал Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта),

**Р.А. ГАВРИЛЕНКО**

(Украина, Днепропетровск, Днепропетровский национальный университет)

## **АКУСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ**

В настоящее время известно несколько способов автоматического контроля и оптимизации процесса измельчения, в частности, на основе установления активной мощности привода барабанной мельницы и производительности мельницы по загружаемому материалу, контроля перепада температуры или разрежения по тракту струйной мельницы [1]. Эти способы имеют недостатки, например, значительную погрешность в определении показателей процесса измельчения, а также запаздывание определения температуры при загрузке материала и недостаточную точность регулирования.

В данной работе поддержание оптимальных параметров работы струйной мельницы предлагается реализовать путем непрерывного контроля акустической активности зоны помола и управления загрузкой измельчаемого материала на основе поиска оптимальной насыщенности струй твердой фазой. Проведенные исследования [2-4] позволили установить следующие закономерности изменения технологических и акустических параметров в процессе струйного измельчения:

– информативными показателями струйного измельчения являются: производительность мельницы, акустическая активность и максимальная величина Амакс амплитуды акустических сигналов (АС) зоны помола;

– производительность мельницы изменяется в зависимости от степени загрузки струй материалом, причем, как перегрузка, так и недогрузка струи материалом приводит к уменьшению производительности;

– значения амплитуд и активности АС зависят от степени измельчаемости и плотности вещества измельчаемого материала, а также от преобладающего в процессе механизма разрушения частиц. В случаях разрушения частиц путем динамического истирания либо при измельчении легко разрушаемых материалов меньшей плотности наблюдаются меньшие на порядок величины максимальной амплитуды и более высокие на порядок величины активности АС зоны помола;

Полагаем, что применение акустического мониторинга процесса струйного измельчения имеет следующие преимущества:

1) контролируется изменение величины загрузки на основе анализа акустической эмиссии зоны измельчения;

## Автоматизація та управління процесами збагачення

2) приймається во внимание взаимосвязь акустических и технологических параметров процесса.

Проведению акустического мониторинга всегда должен предвять экспериментальный выбор основных технологических параметров процесса струйного измельчения, в частности, начального давления и температуры энергоносителя, а также режима классификации, задающего контрольные размеры частиц готового продукта.

Исследования показали, что критериями приближения процесса измельчения к оптимальным условиям являются два показателя: коэффициент  $K_{\dot{N}} = G / \lg \dot{N}$  ( $G$  – производительность мельницы,  $\dot{N}$  – активность акустического излучения зоны помола) эффективности измельчения и коэффициент циркуляции  $K_{\dot{N}} = N / N_{\text{загр}}$  ( $N$ ,  $N_{\text{загр}}$  – соответственно текущее и начальное в момент загрузки значения счета АС). Эти критерии характеризуют разные аспекты процесса измельчения: с одной стороны, количество получаемого продукта, с другой стороны, – количество циркулирующей нагрузки. При этом в рабочем режиме измельчения с уменьшением  $K_{\dot{N}}$  растет  $K_{\dot{N}}$  [5].

Основу акустического мониторинга струйной мельницы составляет закономерность  $\dot{N} = f(G, S_{y\partial}, K_{\dot{N}})$  изменения акустической активности  $\dot{N}$  в зависимости от технологических показателей количества ( $G$ ,  $K_{\dot{N}}$ ) и качества (удельной поверхности  $S_{y\partial}$ ) измельченного продукта.

Экспериментально установлено, что акустические сигналы в предельных относительно эффективности измельчения режимах загрузки струй материалом (разгрузка струй и "завал") имеют различия по максимальной амплитуде АС в зоне измельчения до нескольких порядков. Это прослеживается амплитудными характеристиками АС при измельчении в лабораторной и промышленной установках.

На рис.1 показаны амплитудные характеристики АС в разных режимах загрузки лабораторной установки (материал – кварцевый песок, размеры частиц менее 0,8 мм):

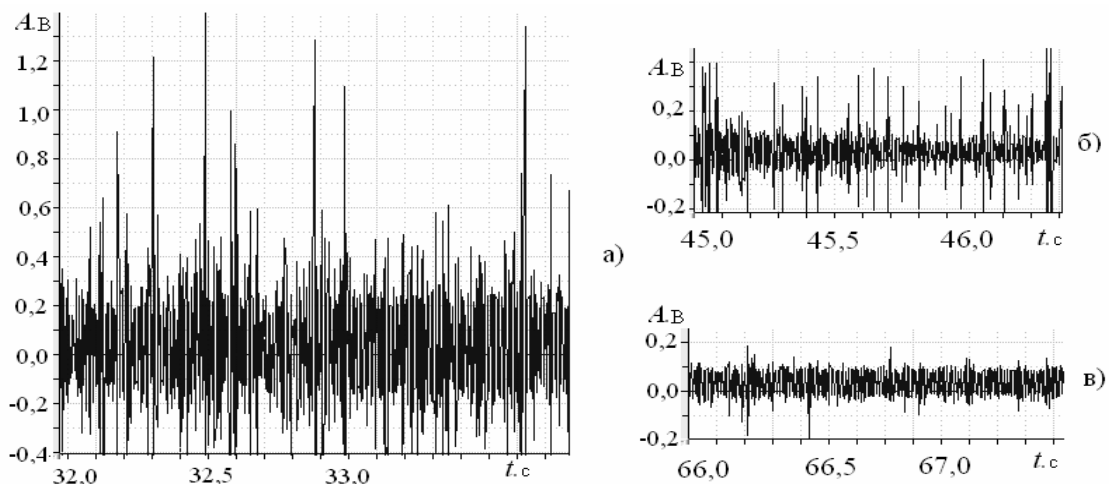


Рис. 1. Амплитудные характеристики АС в разных режимах загрузки лабораторной установки:  
а – подача материала; б – рабочий режим; в – разгрузка струй

## **Автоматизація та управління процесами збагачення**

На рис. 2 показана залежність показателя акустическої ефективності  $K_{\text{э}}$  струйного измельчення від продуктивності  $G$  лабораторної мельниці типорозміра УСИ-20 при измельченні різних матеріалів.

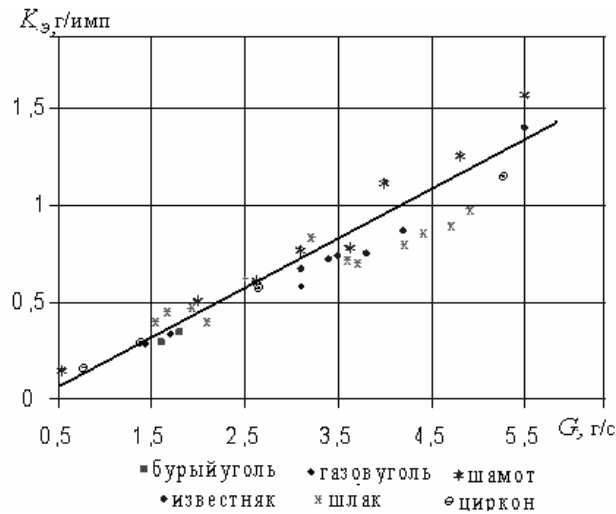


Рис. 2. Залежність показателя акустическої ефективності струйного измельчення від продуктивності

Мониторинг включає операції спостереження процесу, аналіз інформації, отриманої в ході спостереження, і регулювання процесу измельчення. Аналіз акустических сигналів зони помолу дозволяє прогнозувати продуктивність мельниці. Порядок прогнозу складає в наступному.

1. Предварительно, по результатам проведенных исследований в зоне измельчения задают амплитуду акустических сигналов, соответствующую условию оптимальности процесса. Используя базу опытных данных, измеряют текущие значения амплитуды в процессе мониторинга измельчения.

2. Сравнивают полученные значения амплитуды с заданными величинами и при наличии определенных отклонений соответственно изменяют величину загрузки струй материалом до достижения заданной величины амплитуды.

Качество процесса измельчения анализировалось с использованием нескольких параметров: дисперсности измельченного продукта на основе гранулометрического состава, определяемого анализом содержания фракций менее 100, 63, 50, 40 мкм ( $\beta_{-100} - \beta_{-40}$ ), а также удельной поверхности  $S_{уд}$ , измеряемой на приборах Товарова ТЗ или MALVERN.

Для поддержания стабильной дисперсности продукта при струйном измельчении предложен способ контроля качества струйного измельчения, использующий закономерность изменения уровня акустической активности АС с максимальной амплитудой в зависимости от стадии измельчения, а также зависимость (рис. 3) долевого участия малоамплитудных сигналов от режима классификации и дисперсности продукта. На рис. 3 показана зависимость параметра  $S_{уд}$  дисперсности продукта и активности  $\dot{N}(A_{40})$  малоамплитудных (менее 40 мВ) сигналов при струйном измельчении.

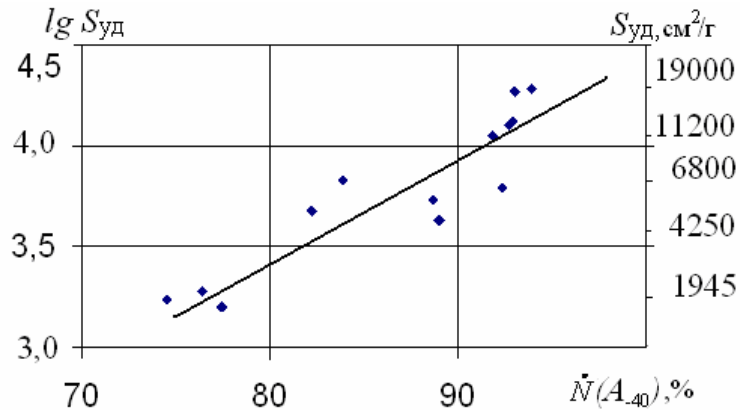


Рис. 3. Зависимость дисперсности продукта от активности малоамплитудных (менее 40 мВ) сигналов при струйном измельчении

Поскольку для разных режимов измельчения и классификации значения активности акустических сигналов отличаются, в способе контроля качества струйного измельчения предусматривается выбор допустимого диапазона изменения акустической активности в рабочем режиме измельчения с целью своевременного изменения при необходимости режима классификации или режима загрузки материала. Это позволит реализовать непрерывный контроль качества и обеспечить требуемую дисперсность измельченного продукта.

На рис. 4 предоставлена схема мониторинга процесса измельчения, включающего следующие этапы: I – запуск мельницы, II – рабочий режим, III – режим мониторинга, IV – остановка мельницы. На первом этапе I задаются АС из базы данных, которые определены для данного материала и технологических параметров измельчения: температуры, давления энергоносителя, режима классификации. Далее система переходит в режим II. Акустические сигналы обрабатываются в режиме III акустического мониторинга. Текущие значения амплитуды сравниваются с заданными параметрами для конкретного материала и режима измельчения.

Основные моменты действий по регулированию процесса состоят в следующем.

- Пока текущая амплитуда акустических сигналов больше заданной контрольной величины, процесс измельчения продолжается без изменений.

- Если текущая амплитуда меньше заданной контрольной величины, это означает, что начинается переход процесса в режим разгрузки, т.е. материала в помольной камере уже недостаточно. В этом случае передается сигнал на регулирующее устройство загрузочного бункера, который открывает подачу очередной порции материала на измельчение.

- В конце измельчения подается сигнал на полную остановку измельчительного комплекса в определенной последовательности.

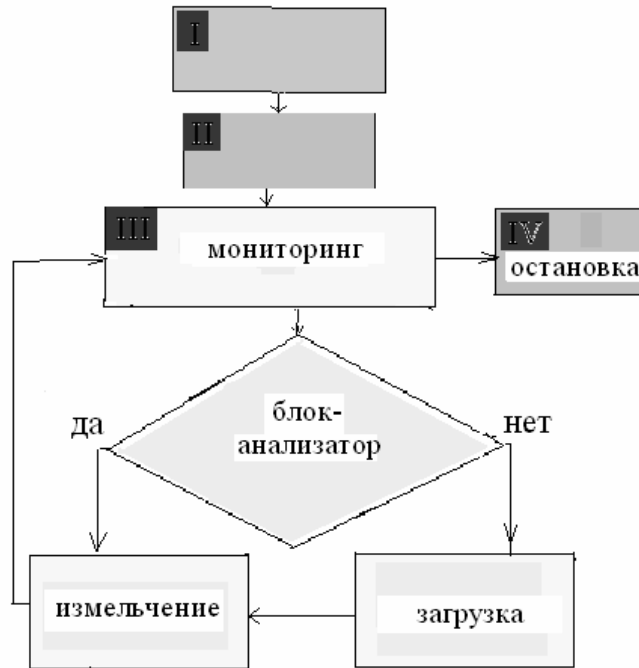


Рис. 4. Схема мониторинга процесса измельчения

На рис. 5 изображена схема регулирования струйного измельчения, где А – блок измерения характеристик, В – управляющий блок, С – исполнительный блок.

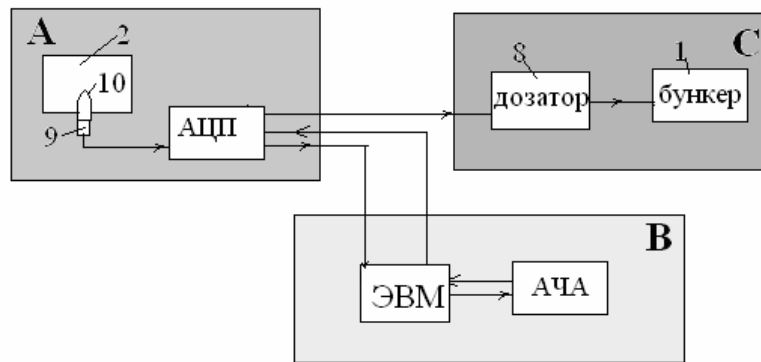


Рис. 5. Схема регулирования струйного измельчения

Схема устройства содержит блок А, который измеряет амплитудно-частотные характеристики акустических сигналов. Блок А состоит из волновода 9, один конец которого входит в помольную камеру 2, а другой – вне камеры последовательно соединено с пьезокерамическим датчиком 10 и аналого-цифровым преобразователем (АЦП) 4. Последний связан с анализирующим и управляющим блоком В. Блок В имеет прибор обработки информации ЭВМ (компьютер), принимающий акустические сигналы, и амплитудно-частотный

## **Автоматизація та управління процесами збагачення**

анализатор (АЧА), который при выполнении необходимых условий через АЦП передает сигнал на исполнительный блок С. Блок С состоит из дозатора 8 и бункера 1 для загрузки материала.

В предлагаемой схеме контролируются технологические параметры энергоносителя, изменения во времени размеров измельчаемых частиц, концентрации материала в струе, механизма измельчения и кратности циркуляции некондиционного по крупности материала. В каждый момент времени результаты мониторинга сравниваются с заданными параметрами и при необходимости изменяется величина загрузки согласно программе мониторинга.

В таблице сопоставлены результаты измерения производительности лабораторной мельницы при измельчении шамота для вариантов использования предложенного способа регулирования на основе акустического мониторинга и при его отсутствии.

№ п/п	$G$ , кг/ч, одна загрузка, без мониторинга	$G$ , кг/ч, периодическая загрузка, без мониторинга	$G$ , кг/ч, периодическая загрузка, с мониторингом
1	9,15	9,0	10,5
2	7,2	7,24	11,25
3	3,0	10,45	10,86
4	1,35	9,6	10,35
5	0,6	11,1	10,65
6	–	5,9	10,35
7	–	1,9	8,4
$G_{\text{средн}}$ , кг/ч	4,26	7,9	10,3

Производительность струйной мельницы, как видно из таблицы, увеличивается с 4,26 кг/ч (при одноразовой загрузке материала) и 7,9 кг/ч (при дополнительной загрузке материала, но без акустического мониторинга) до 10,3 кг/ч при регулировании загрузки материалом с использованием акустического мониторинга. Прирост производительности за счет применения мониторинга и соответствующего регулирования процесса составил  $\approx 30\%$ . Промышленная проверка акустического мониторинга в условиях ВГМК подтвердила эффект роста производительности струйной мельницы порядка 20% (в режиме выхода мельницы из стадии перегрузки в рабочий режим измельчения) [6, 7].

В результате проведенных исследований разработана информативная технология оптимизации струйного измельчения на основе акустического мониторинга процесса. Создана база данных, включающая основные технологические параметры (давление и температура энергоносителя, режим классификации, порядок загрузки материала), записи и характеристики акустических сигналов процесса измельчения для различных видов сыпучих материалов. Особенность накопления базы данных акустических сигналов при использовании мониторинга струйного измельчения заключается в выделении классов записанных сигналов по материалам, технологическим режимам и режимам загрузки струй материалом. Такая классификация необходима для создания базы эталонов сиг-

## Автоматизация та управління процесами збагачення

налов соответствующих кластеров и достаточно точной работы системы распознавания принадлежности полученного сигнала к какому-либо классу эталонов. Это способствует корректной идентификации исследуемого режима измельчения и дальнейшего управления процессом.

Схема информационной технологии показана на рис. 6. Моделирование процесса струйного измельчения предполагается реализовать в несколько этапов: создание базы данных технологических и акустических параметров процесса; преобразование данных по методу Фурье; нормировку данных для использования в нейронных сетях; обучение нейронных сетей; проверку модели на адекватность.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о перспективности применения акустического мониторинга зоны измельчения для прогнозирования показателей количества и качества работы струйной мельницы. В дальнейшем на основе создания базы опытных данных и предлагаемой информационной технологии возможно моделирование этого процесса в целях соблюдения оптимального уровня технико-экономических показателей при измельчении различных сыпучих материалов.

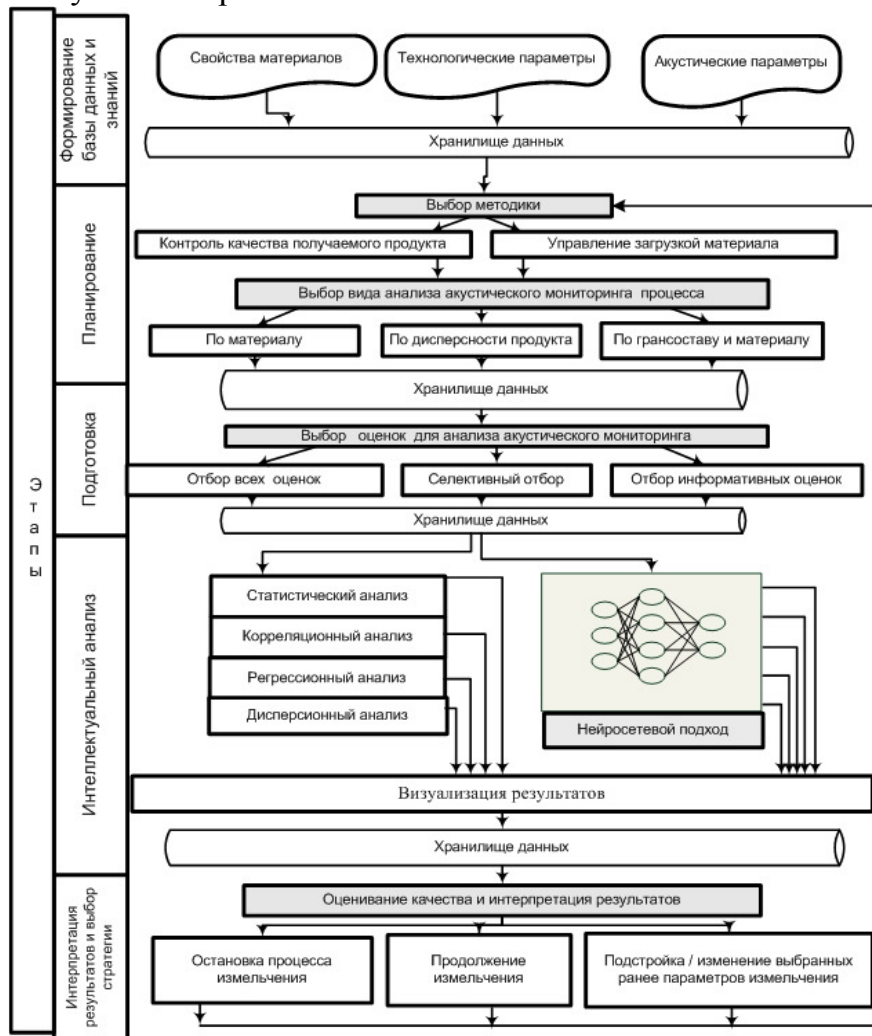


Рис. 6. Схема информационной технологии

1. Спосіб моніторингу процесу струминного подрібнення: пат. на корисну модель № 62229 / П.І. Пілов, Л.Ж. Горобець, Н.С. Прядко, В.П. Краснопер, О.М. Лазніков. – МПК В02С19/06 // опубл. 25.08.2011, бюл. № 16, заявка № 201100081, опубл. 04.01.2011.
2. Характеристики дисперсности продуктів струйного измельчення / Л.Ж. Горобець, Н.С. Прядко, В.П. Краснопер и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 41(82)-42(83). – С. 110 –121.
3. Пілов П. И. Исследование рабочей зоны струйной мельницы на основе акустического мониторинга / П.И. Пілов, Л.Ж. Горобець, Н.С. Прядко и др. // Сб. матеріалів VIII Конгресса обогатителів стран СНГ. – МИСиС, 2011. – Т.1.– С. 302-305.
4. Информационная технология получения тонкодисперсных матеріалів струйным измельчением / Н.С. Прядко, Т.М. Буланая, Л.Ж. Горобець и др. // Системные технологии: Региональный межвузовский сб. науч. тр. – 2010. – Вып. 3(58). – С. 40-46.
5. Пілов П.И., Горобець Л.Ж., Прядко Н.С. О механизме разрушения частиц при струйном измельчении // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 43(84) – С. 43-53.
6. Исследование рабочей зоны струйной мельницы на основе акустического мониторинга / П.И. Пілов, Л.Ж. Горобець, Н.С. Прядко и др. // Сб. матеріалів VIII Конгресса обогатителів стран СНГ. – МИСиС, 2011. – Т.1. – С. 302-305.
7. Результаты акустического мониторинга промышленной струйной установки / П.И. Пілов, Л.Ж. Горобець, Н.С. Прядко и др. // Техническая механика. – 2011. – № 2. – С. 93-100.

© Пілов П.И., Горобець Л.Ж., Прядко Н.С., Соболевская Ю.Г., Гавриленко Р.А., 2012

*Надійшла до редколегії 19.02.2012 р.*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*