

УДК 622.73

**Л.В. МУЗЫКА**

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

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ СТРУЙНОЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

*Постановка проблемы.* В горнорудной, горно-химической и других отраслях промышленности для помола рудных и нерудных полезных ископаемых применяется струйное измельчение. На сегодняшний день струйное измельчение является наиболее энергоемким видом измельчения. Поэтому повышение энергоэффективности данного процесса является актуальной задачей.

*Анализ последних достижений.* Вопросы выбора оптимального режима измельчения и управления процессом рассматривались давно [1-3]. Вопросам повышения эффективности работы измельчительных агрегатов посвящены труды многих советских и зарубежных авторов: С.Е.Андреева, Б.А.Арефьева, И.Г. Гривмава, Д.К. Крюкова, А.Н. Марюты, В.А. Олевского, В.А. Петрова, О.Н. Тихонова, А.Е. Тропа, Г.А. Хаца, С.Ф. Шинкоренко, Б.П. Яшина, Д. Ватсона, А. Линча и многих других. В частности, в [4] описано управление процессом измельчения на базе анализа расходно-напорных характеристик пневмотранспортной сети, давления в камере измельчения. Однако в этих случаях время запаздывания было слишком большим и максимум загрузки не удавалось удерживать.

*Целью* данной работы является разработка системы управления приводом бункера загрузки струйной мельницы на базе акустического мониторинга.

*Изложение основного материала.* Как известно, энергоэффективность струйной мельницы зависит от загрузки измельчительной камеры, поэтому для поддержания оптимального режима необходимо контролировать подачу материала из бункера в измельчительную камеру (3) (рис. 1). Для этого используется бункер (1) с центральным телом, соединенным с силовым приводом, которое двигается вдоль оси. Силовой привод состоит из соленоида (5), ферромагнитного сердечника (12), пружины обратного хода (11) и силового преобразователя (10). Как уже было установлено ранее в [5] максимальная производительность достигается при работе системы на границе устойчивости, т.е. возле режима перегрузки, однако допустить "завал" ни в коем случае нельзя (рис. 2).

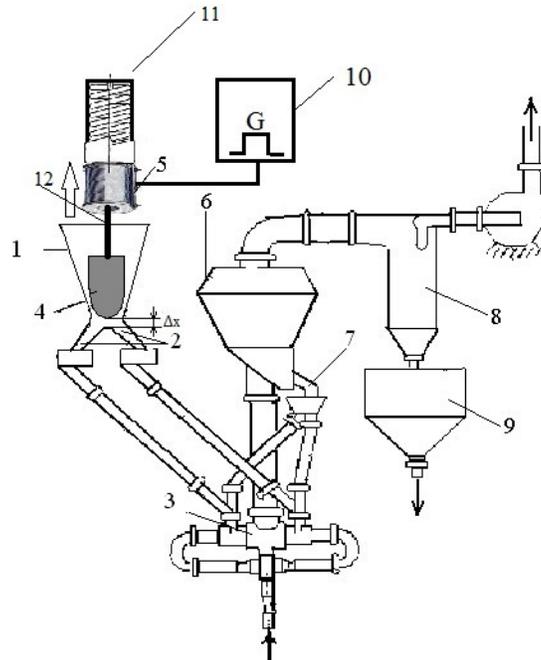


Рис. 1. Струйная измельчительная установка с управляемым бункером загрузки

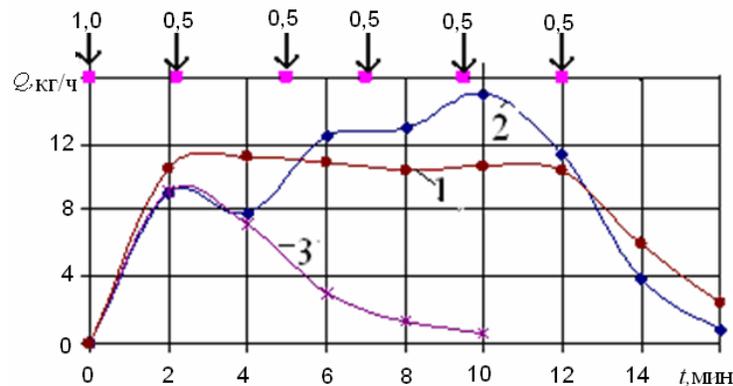


Рис. 2. Зависимость производительности мельницы от загрузки струй материалом

Поэтому для эффективного поддержания работы системы на границе устойчивости необходима система автоматического управления бункером загрузки мельницы. Так как, в объекте управления переходные процессы происходят крайне медленно, то высокое быстродействие от системы управления не требуется, а значит основным критерием оптимизации системы остается максимальная производительность.

Для реализации управления используется одноконтурная система управления (рис. 3) силовым приводом бункера. Сигнал обратной связи формируется при анализе сигнала с акустического датчика в камере измельчения. Уровень

## **Автоматизация та управління процесами збагачення**

сигнала задания на заполнение измельчительной камеры зависит от материала, типа мельницы и определяется экспериментальным путем. Это связано с тем, что при одинаковом заполнении измельчительной камеры разными по своим свойствам материалами акустический датчик фиксирует разную амплитуду и частоту сигнала.

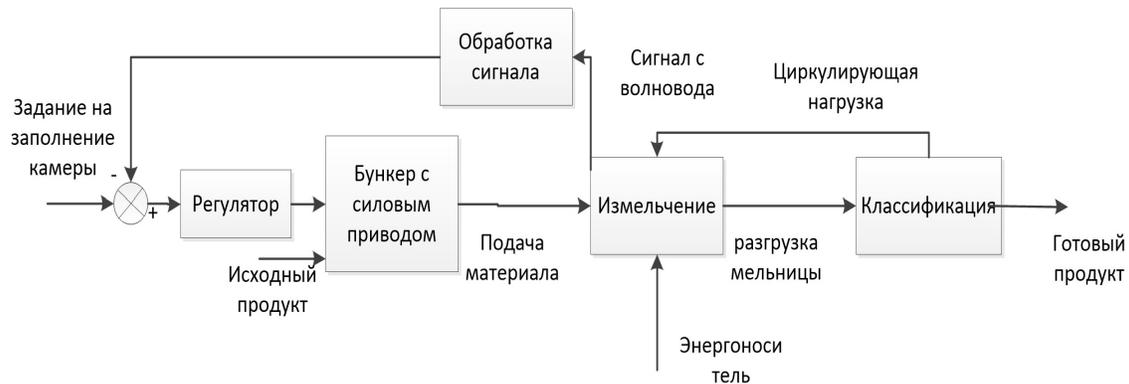


Рис. 3. Структурная схема системы управления бункером загрузки

Возможно два способа подачи исходного материала в измельчительную камеру: дискретный и непрерывный с регулировкой скорости подачи. У двух этих способов есть свои преимущества и недостатки. Непрерывный способ подачи позволяет избежать риск ухода в завал, позволяет плавно регулировать загрузку мельницы в зависимости от сигнала обратной связи. Однако, при управлении данным способом возможно слипание материала вблизи выходного отверстия бункера при малой высоте подъема центрального тела. При дискретной подаче осуществляется загрузка определенного объема материала, который зависит от объема измельчительной камеры, давления воздуха и частоты вращения классификатора. При заданных параметрах выходного отверстия бункера загрузки вычисляется только время поднятия центрального тела.

Поскольку процесс измельчения имеет случайный характер изменения крупности и физико-механических свойств измельчаемого материала, а так же случайный характер изменения параметров энергоносителя и характеристик элементов мельницы, то невозможно использовать систему управления с жесткой (расчётной) оптимизацией принятого критерия качества. В этом случае целесообразно использовать системы с автоматической оптимизацией принятого критерия качества. Из-за этого, есть необходимость использовать либо вероятностную математическую модель, которая бы полностью описывала бы процесс измельчения, либо применить новый подход к управлению на основе анализа сигналов акустического мониторинга процесса.

Для получения сигнала управления силовым приводом необходимо анализировать акустические сигналы зоны измельчения. Для выполнения анализа существует множество методик, но для реализации средствами ПЛК (програм-

мируемого логического контроллера) наиболее пригодный амплитудный анализ. Для осуществления акустического мониторинга в измельчительной камере устанавливается волновод, который соединен с пьезокерамическим датчиком. Датчик фиксирует столкновения измельчаемых частиц с волноводом и преобразует энергию столкновения в электрический сигнал. Так как, сигнал имеет небольшую амплитуду, которая при обычном режиме работы составляет порядка 0,2 В, то есть необходимость в использовании прецизионного усилителя с широким диапазоном рабочих частот для преобразования сигнала (рис. 4) в сигнал задания на изменение положение заслонки бункера. Для этого сигнал поступает на АЦП (аналого-цифровой преобразователь) ПЛК и после этого фиксируется выборка сигнала, которая записывается в память контроллера. Длительность выборки определяется экспериментально. Далее фильтруются случайные значения, и находится максимум выборки, по которому формируется сигнал обратной связи для управления приводом заслонки бункера загрузки.

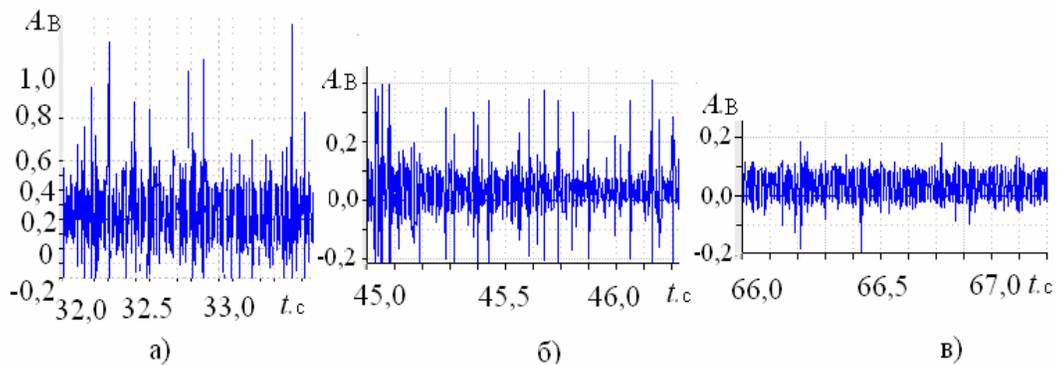


Рис. 4. Сигналы при разных режимах работы измельчительной установки

Для поддержания критерия оптимизации, а именно максимальной производительности, необходимо учитывать при выборе регулятора (рис. 3) следующие особенности процесса:

- производительность мельницы в зависимости от концентрации при постоянном расходе энергоносителя имеет один экстремум;
- в качестве регулирующего параметра необходимо использовать изменение концентрации;
- основным возмущающим воздействием при измельчении являются физико-механические свойства материала;
- наличие запаздывания при прохождении исходного материала по каналам подачи. Исходя из этого, для обеспечения работы мельницы в оптимальном режиме в устойчивой зоне необходимо, чтобы соблюдались следующие соотношения:

$$\frac{dG_{\text{ГОТ}}}{d\mu} = 0; \quad (1)$$

$$\frac{d\mu}{dQ_G} = 0, \quad (2)$$

где  $G_{ГОТ}$  – весовой расход готового продукта;  $\mu$  – коэффициент инжекции;  $Q_G$  – объемный расход энергоносителя.

С учетом соотношений (2) и (3), обозначив величину шага  $\alpha$ , закон работы регулятора при очередном изменении концентрации  $\mu$  в зависимости от приращения производительности по готовому продукту выражается следующим уравнением:

$$\Delta\mu = \alpha \text{sign} \Delta G_{ГОТ_{n-1}} \cdot \Delta\mu_{n-1}, \quad (3)$$

где  $\Delta G_{ГОТ_{n-1}} = G_{ГОТ_n} - G_{ГОТ_{n-1}}$ ;  $\Delta\mu_{n-1} = \mu_n - \mu_{n-1}$ ;  $n$  – номер шага регулятора.

Так как, мельница работает близко к границе неустойчивости, то при переходе точки экстремума возможен завал мельницы. С учетом этого закон регулирования примет вид:

$$\Delta\mu = \alpha \text{sign}(\Delta G_{ГОТ_{n-1}} - \delta) \cdot \Delta\mu_{n-1}, \quad (4)$$

где  $\delta$  – шаг устойчивости системы.

### *Выводы*

Проведенный анализ процессов в измельчительной камере при разных режимах работы струйной мельницы показал возможность оптимизации измельчения на основе управления загрузкой мельницы с использованием результатов акустического мониторинга процесса. Рассмотрен объект управления одноконтурной системы подчиненного регулирования. Разработана структурная схема системы автоматического управления силовым приводом бункера загрузки на основе акустического мониторинга. Описан способ реализации амплитудного анализа сигналов средствами программируемого логического контроллера.

### **Список литературы**

1. Утеуш Э.В., Утеуш З.В. Управление измельчительными агрегатами. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
2. Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитно-обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1975. – 231 с.
3. Черноусько Ф.Л., Колмановский В.Б. Оптимальное управление при случайных возмущениях. – М.: Наука, 1978. – 351 с.
4. Горобец В.И. Оптимизация параметров и разработка способа автоматического регулирования газоструйной мельницы. – Днепропетровск, 1972. – 21 с.
5. Прядко Н.С. Акустико-эмиссионный мониторинг процесса струйного измельчения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2012. – № 6. – С. 46-52.
6. Прядко Н.С. Акустические исследования струйного измельчения // LAP LAMBERT

## **Автоматизація та управління процесами збагачення**

Academic Publishing. – OmniScriptum GmbH&Co.Kg. – 2013. – Saarbrucken Germany. – 172 с.

7. Патент України № 104427 Спосіб моніторингу струминного подрібнення і газоструминний млин / Пілов П.І., Горобець Л.Ж., Прядко Н.С.// опубл. 10.02.2014, бюл. № 3, заявка № а201016004 опубл. 10.07.2012, бюл. № 13.

8. Pryadko N. Optimization of fine grinding on the acoustic monitoring basis // Energy Efficiency Improve-ment of Geotechnical Systems. – 2015. – Taylor & Francis Group, London. – P. 99-108.

9. Прядко Н.С., Стрельников Г.А. Информационные технологии для управления тонким измельчением // Техническая механика. – 2014. – №4. – С. 118-125.

© Музыка Л.В., 2016

*Надійшла до редколегії 21.08.2016 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець*