УДК 622.776

Н.С. Прядко, Л.В. Музыка

МЕТОДИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРУЙНЫМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В данной работе предложена система автоматического управления по критерию максимальной производительности, учитывающая особенности процесса. Для корректного управления процессом измельчения разработана модель измельчительной установки. Для описания процесса разгрузки материала из бункера при изменении площади его выходного отверстия была составлена модель бункера. Предложен оптимальный метод обработки акустических сигналов зоны измельчения средствами микроконтроллера. Разработанные модели позволят качественно улучшить управление процессом измельчения.

Ключевые слова: модель, система автоматического управления, объект управления, акустический мониторинг.

Введение. В горнометаллургической, 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.

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, давлению в камере измельчения. Однако в этих случаях время

© Прядко Н.С., Музыка Л.В., 2017

запаздывания было слишком большим и максимум загрузки не удавалось удерживать.

Целью данной работы является синтез системы автоматического управления (САУ) струйной мельницы на основе экспериментальной модели объекта управления и результатов акустического мониторинга зоны измельчения.

Эффективность работы струйной измельчительной установки зависит от степени загрузки измельчительной камеры и замкнутой системы измельчения в целом. Для этого необходимо поддерживать оптимальный уровень заполнения помольной камеры. Зависимость производительности от степени заполнения носит экстремальный характер. Основной задачей САУ является поддержание загрузки в точке максимума производительности. Для поддержания работы системы в точке максимума необходимо управлять потоком исходного материала из бункера.

Рассмотрим работу струйной мельницы (рис. 1). Для подачи материала используется бункер (1) с центральным телом (4), соединенным с силовым приводом и двигающимся вдоль оси [5]. Силовой привод состоит из соленоида (5), ферромагнитного сердечника (12), пружины обратного хода (11) и силового преобразователя (10).

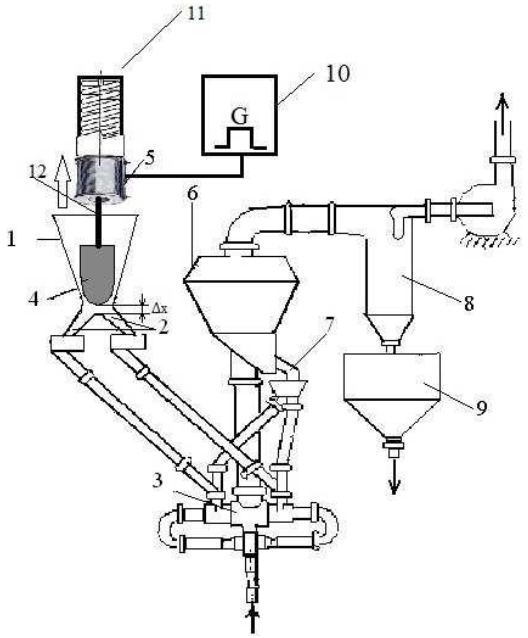

Рисунок 1 - Струйная измельчительная установка

Далее материал поступает в измельчительную камеру (3) по патрубкам (2). Из измельчительной камеры измельченный продукт

 ISSN 1562-9945

поступает в классификатор (6), после чего готовый продукт попадает в бункер разгрузки (9) через циклон (8), а недоизмельченные классы материала по патрубкам (7) возвращаются в измельчительную камеру (3). Степень заполнения измельчительной камеры определяется акустическим датчиком, который установлен в камере (3). Для корректного управления процессом измельчения необходимо представить измельчительную установку в виде модели.

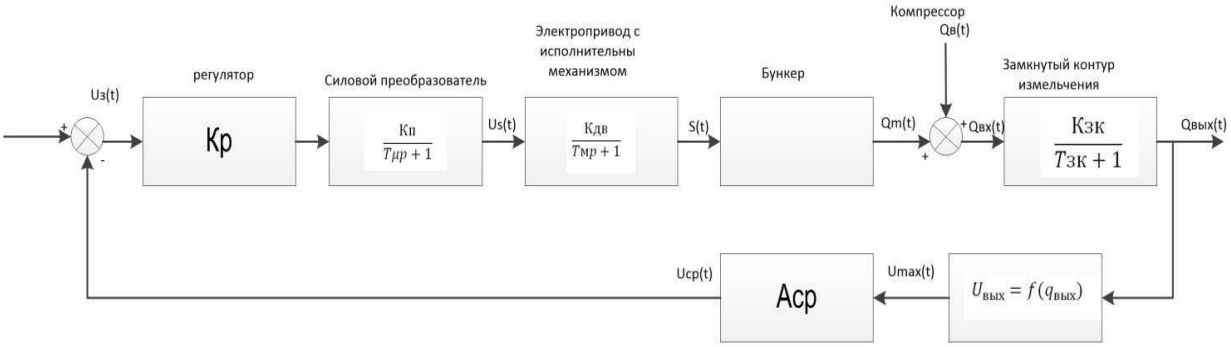

Рисунок 2 - Модель САУ струйной мельницы

Для реализации оптимизации по критерию максимальной производительности необходимо учитывать следующие особенности процесса:

- производительность мельницы в зависимости от концентрации материала 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.

Сигнал задания формируется экспериментально, исходя из типа, крупности исходного материала и готового продукта. Исследованиями, проведенными на измельчительной установке УСИ-20, установлены технологические и акустические параметры процесса (см. табл. 1) [6 - 10].

Таблица 1

Параметры работы измельчительной установки

t , мин	Q , кг/ч	$N*10^5$, $с^{-1}$	Acp, В
0,1	-	1,56	2,0
2,0	9,15	0,96	1,5
4,0	7,2	0,94	0,46
6,0	3,0	0,46	0,22
8,0	1,35	0,75	0,2
10,0	0,6	0,18	0,1

Связь амплитуды акустических сигналов зоны измельчения и производительности струйной мельницы описывается уравнением (1).

$$Q(t)_{вых} = 8,741\,A_{средн}(t) + 0,074 \quad (1)$$

где: $Q(t)_{вых}$ - выход продукта, кг/ч

Исследования показали, что оптимальный режим работы измельчительной установки достигается при уровне сигнала с акустического датчика A = 1.5 В. Исходя из этого формируется сигнал задания на входе САУ.

Силовой преобразователь в данной системе служит для преобразования сигнала управления в питающее напряжение для соленоида. Данный преобразователь описывается в виде апериодического звена 1-ого порядка, где Кп (см. рис. 2.) зависит от номинального напряжения питания силового электропривода, а постоянная времени $T\mu$ - от быстродействия преобразователя. Электропривод также описывается апериодическим звеном 1-ого порядка. Кдв зависит от изменения площади выходного отверстия бункера при перемещении центрального тела. Постоянная времени $Tм$ зависит от инерционности соленоида и исполнительного механизма.

Запишем уравнение выхода исходного материала из конусообразного бункера при изменении площади выходного отверстия.

$$Q(t)_{вых} = S(t)\lambda\sqrt{3,2g\frac{\pi R_2^2 - S(t)}{2\sqrt{\pi S(t)}}} \quad (2)$$

где λ – коэффициент истечения для сыпучих материалов 0,4-0,7;

S – площадь выходного отверстия бункера;

R_2 – максимальный радиус бункера.

Представим (2) в следующем виде:

$$Q(t)_{вых} = S(t)\lambda\sqrt{\frac{K_1}{\sqrt{S(t)}} - K_2\sqrt{S(t)}} \quad (3)$$

 ISSN 1562-9945

где $K_1 = 1,6g\sqrt{\pi}R_2^2$, $K_2 = \frac{1,6g}{\sqrt{\pi}}$.

Для описания изменения выхода материала из бункера при изменении площади выходного отверстия бункера была составлена модель бункера (рис. 3) на основании уравнений (2-3)

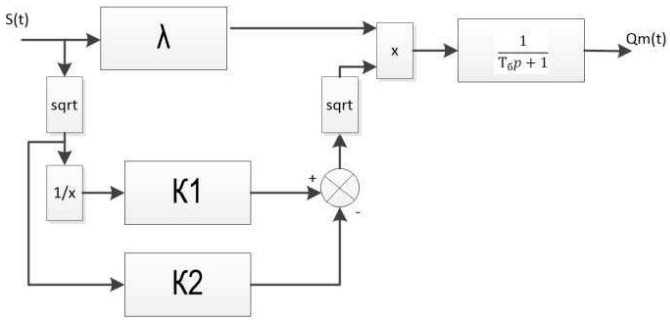

Рисунок 3 - Модель бункера загрузки

Так как камера измельчения (3) классификатор (6) и трубки обратной подачи (7) представляют собой замкнутую систему, то для упрощения описания используем апериодическое звено 1-ого порядка. Постоянная времени *Тзк* определяется экспериментально, временем которое прошло между подачей максимально возможной порции материала в камеру измельчения и полным завершением процесса измельчения. Из табл. 1 видно, что для полного завершения процесса измельчения необходимо 10 мин. Исходя из этого можно установить, что постоянная времени *Тзк* составляет 2 мин.

Для получения сигнала управления силовым приводом необходимо анализировать акустические сигналы зоны измельчения. Для выполнения анализа существует множество методик, но для реализации средствами микроконтроллера (МК) 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 A = 0,1 В, то необходимо использовать прецизионный усилитель с широким диапазоном рабочих частот для преобразования сигнала (рис. 4) в сигнал задания на положение заслонки бункера.

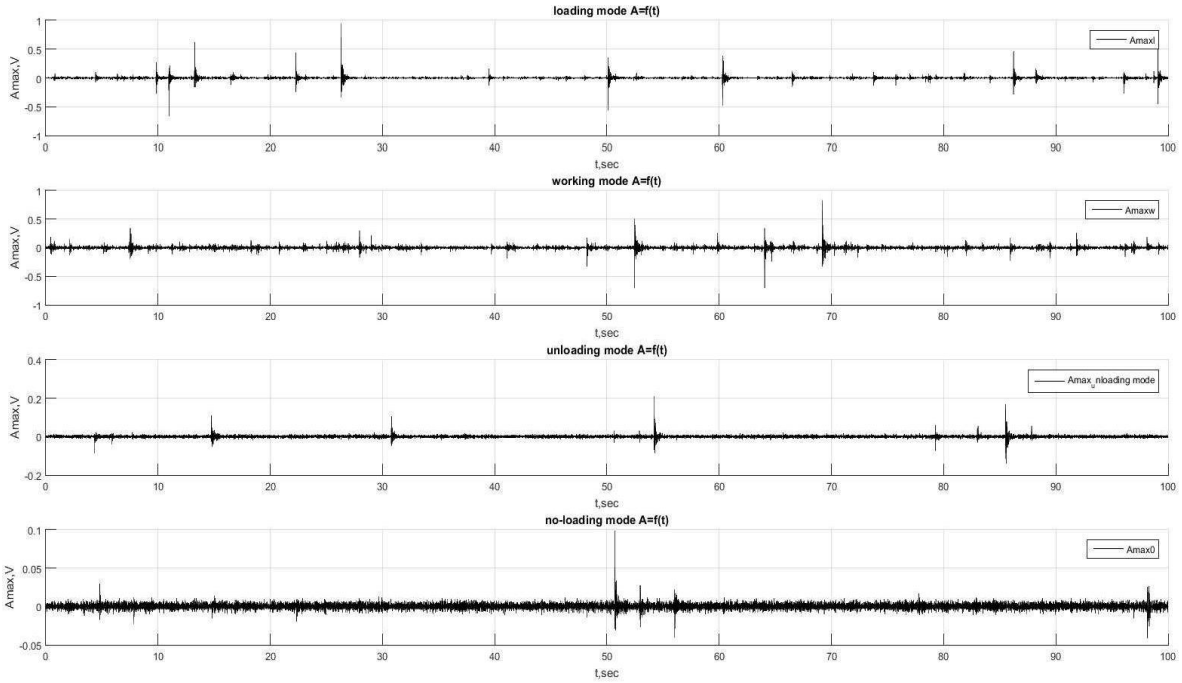

Рисунок 4 - Запись сигналов без усреднения из камеры измельчения при различных режимах работы измельчительной установки

Для этого сигнал поступает на АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) МК. После этого фиксируется выборка сигнала, которая записывается в память контроллера. При этом длительность выборки определяется экспериментально. Управлять непосредственно по амплитудным величинам в данном случае невозможно, т.к. в сигнале с датчика заключены высокочастотные выбросы перенапряжений. Поэтому для минимизации влияния случайных величин находится среднее значение выборки, по которому формируется сигнал обратной связи для управления приводом заслонки бункера загрузки.

После применения усреднения по выборке (см. рис. 5.) установлено, что амплитуда выбросов по отношению к основному несущему сигналу уменьшилась.

 ISSN 1562-9945

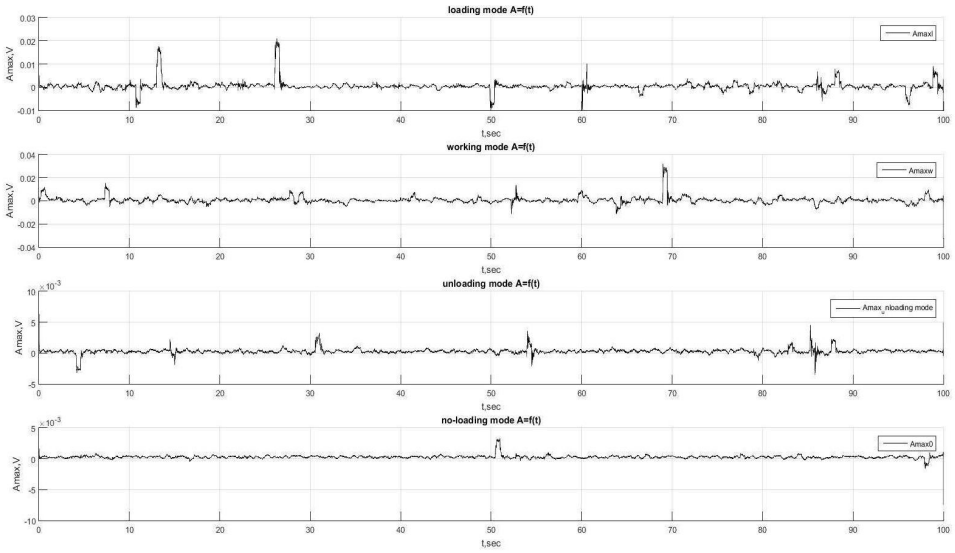

Рисунок 5 - Сигналы с усреднением из камеры измельчения при различных режимах работы измельчительной установки

Данная операция позволяет повысить устойчивость работы всей САУ в целом. Коэффициент регулятора из-за особенности сигналов обратной связи подбирается экспериментальным путем. При слишком большом коэффициенте регулятора возможен выход системы в колебательный режим.

Выводы

На сегодняшний день струйное измельчение является наиболее энергоемким видом измельчения, поэтому повышение энергоэффективности данного процесса является актуальной задачей. Исходя из этого, была разработана модель системы автоматического управления струйной мельницы на основании экспериментальных данных. Предложен оптимальный метод обработки акустических сигналов средствами микроконтроллера. Данная модель позволит качественно улучшить управление процессом измельчения. В перспективе планируется реализация предложенной системы управления на основе управления приводом бункера загрузки.

ЛИТЕРАТУРА

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., Колмановокий 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 г. – 21 с.
5. Патент на корисну модель № 112112 Україна, МПК B02C 25/00. Газоструминний млин / Прядко Н.С.Музика Л.В.; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. – u 201603419; заявл. 04.04.2016; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 13. – 7 с.
6. Прядко Н.С. Акустико-эмиссионный мониторинг процесса струйного измельчения // Техническая диагностика и неразрушающий контроль 2012.-№ 6.- С. 46 – 52.
7. Прядко Н.С. Акустические исследования струйного измельчения// LAP LAMBERT Academic Publishing.–OmniScriptum GmbH&Co.Kg.–2013.– Saarbrucken Germany.–172c.
8. Патент на винахід № 104427 Україна, МПК B02C 25/00. Спосіб моніторингу струминного подрібнення і газоструминний млин / Пілов П.І., Горобець Л.Ж., Прядко Н.С.; заявник і патентоволодар Національний гірничий університет. – a 201016004; заявл. 31.12.2010; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3. – 6 с.
9. Pryadko N. Optimization of fine grinding on the acoustic monitoring basis// Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems.- 2015 Taylor & Francis Group, London, p. 99 – 108.
10. Прядко Н.С. Информационные технологии для управления тонким измельчением / Н. С. Прядко, Г. А. Стрельников // Техническая механика. – 2014. – №4. – С. 118 – 125.
11. Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах/ И.В. Горюшинский, И.И. Кононов, В.В. Денисов, Е.В. Горюшинская, Н.В. Петрушкин. Под общей редакцией И.В. Горюшинского: Учебное пособие. – Самара: СамГАПС, 2003. – 232 с.

 ISSN 1562-9945