

*М.А. Алексеев, д-р. техн. наук, Е.Л. Холод*

*(Украина, Днепрпетровск, ГВУЗ «Национальный горный университет»)*

## **КОНТРОЛЬ ПЕРЕГРУЗКИ БАРАБАНЫХ МЕЛЬНИЦ РУДОЙ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА ЗВУКОМЕТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА**

**Введение.** Украина обладает крупнейшими запасами железных руд. Только в Криворожском бассейне работают пять горно-обогажительных комбинатов (ГОКов) по переработке железных руд в высококачественный железорудный концентрат. Каждый ГОК перерабатывает ежегодно около 30 млн. тонн руды и производит порядка 15 млн. тонн железорудного концентрата. Производительность каждого ГОКа по выпускаемому железорудному концентрату определяется производительностью обогажительных фабрик, каждая из которых состоит из параллельно работающих технологических линий или секций обогащения. В начале технологического процесса каждой секции обогащения размещают шаровые или бесшаровые барабанные мельницы первой стадии измельчения руды. На обогажительных фабриках одного ГОКа работает примерно 100 – 120 таких барабанных мельниц. Производительность мельницы по исходной руде задается диспетчерской системой управления горно-обогажительной фабрики в зависимости от типа перерабатываемой руды. Из-за колебаний свойств исходной руды часто происходит перегрузка мельниц рудой, в результате чего мельницы останавливаются и разгружаются. Возникает простой технологических линий обогащения и недовыпуск концентрата примерно на 10 – 15 % от общего объема производства. Известные датчики заполнения мельниц рудой имеют ряд недостатков, в том числе дрейф статических характеристик из-за изменения свойств перерабатываемой руды, что не позволяет надежно контролировать перегрузку мельниц рудой.

### **Анализ существующих достижений и публикаций**

Процесс измельчения сырья, который широко используется в различных отраслях промышленности, характеризуется высокой ресурсоемкостью и во многом определяет качество дальнейшей переработки сырья. Однако существующий уровень автоматизации процессов измельчения не обеспечивают ведения стабильного и оптимального по параметрам процесса.

На сегодняшний день уровень автоматизации процессов измельчения на различных предприятиях изменяется от практически нулевого уровня до достаточно развитых систем интеллектуальной поддержки управлением процесса измельчения. При этом наиболее типичные задачи автоматизации решаются посредством введения контуров стабилизации соответствующих технологических параметров: стабилизация расхода руды в мельницу; стабилизация соотношения «руда-вода» посредством подачи воды в мельницу; стабилизация плотности слива классифицирующего аппарата (классификатора или гидроциклона) подачей дополнительной воды в классификатор или зумпф.

Примерно в 95% случаев автоматизация процессов измельчения ограни-

чивается этими задачами. Однако решения, которые существуют на сегодняшний день, не полностью удовлетворяют как технологов, так и инвесторов.

Одним из методов повышения эффективности автоматизации измельчения, который позволяет отследить в определенной мере изменяющиеся свойства руды и условия измельчения, является контроль объемного заполнения мельницы рудой.

Еще в 60-е годы прошлого столетия было показано, что при улучшении измельчаемости руды и условий измельчения при постоянной подаче руды объемное заполнение мельницы падает, и наоборот растет при ухудшении условий [1]. Таким образом, стабилизируя объемное заполнение на заданном уровне, можно в определенной степени подстраивать текущую производительность под изменяющиеся условия. Поддерживая объемное заполнение на максимально возможном уровне, можно добиться следующих результатов:

- использовать мельницу в режиме максимально возможной в данных условиях производительности;
- снизить абсолютный и удельный расход электроэнергии, что объясняется известным положением, утверждающим, что минимум энергии разрушения достигается при максимуме возможного объемного заполнения;
- стабилизация объемного заполнения в определенной степени стабилизирует циркуляционную нагрузку. Это объясняется тем, что последняя состоит из двух частей: циркуляционного объема, находящегося в мельнице и объема, находящегося в контуре классифицирующего аппарата. Стабилизация циркуляционной нагрузки в некоторой степени улучшает стабилизацию плотностного режима при поддержании соотношения «руда-вода».

К сожалению, прямые методы контроля объемного заполнения мельницы рудой отсутствуют. С другой стороны, существует ряд косвенных методов измерения объемного заполнения мельницы рудой.

В работе [2] описан способ автоматического контроля заполнения мельниц с помощью магнитомодуляционных датчиков.

Достоинством магнитомодуляционного датчика является возможность индикации угла отрыва шаров в мельнице. Недостатками датчика являются низкая надежность вследствие наличия скользящего контакта и токосъемных шин для передачи информации, необходимость переделки футеровки мельницы, громоздкость, сложность и высокая стоимость оборудования, износ немагнитной вставки в футеровке мельницы.

В [2] приводится описание радиотелеизмерительного датчика шума мельницы, предназначенного для регистрации степени заполнения мельниц рудой. Радиотелеметрический способ контроля загрузки мельниц дает невысокую точность вследствие того, что модуляция телеизмерительного датчика возникает раньше, чем датчик входит в зону перехода шаров с круговых траекторий на параболические и в зону перехода шаров с параболических траекторий на круговые, и оканчивается позже, чем датчик выходит из этих зон.

В работе [3] предлагается радиоизотопный индикатор заполнения мельниц мокрого самоизмельчения руд (РИЗМ). Анализ статических характеристик РИЗМа показывает, что одному и тому же показателю приемника могут соот-

ветствовать разные значения фактической степени загрузки мельницы рудой. Кроме того, РИЗМ не удалось применить для автоматического контроля загрузки рудой шаровых мельниц из-за особенности их работы в водопадном режиме. Эти недостатки не позволяют применять РИЗМ для надежного определения загрузки рудой мельниц мокрого самоизмельчения и шаровых мельниц.

Авторами работы [4] предлагается контролировать шаровую загрузку мельницы по активной мощности приводного двигателя мельницы. В качестве измерителя активной мощности можно применять стандартные приборы. Это является достоинством предлагаемого способа. Недостатком его является то, что активная мощность является функцией веса рудно-шарового тела в мельнице и угла отклонения центра тяжести рудно-шарового тела от вертикальной оси симметрии мельницы. Угол отклонения центра тяжести определяется силами внутреннего трения в мельнице, которые зависят от физико-механических свойств исходной руды, плотности пульпы в мельнице, профиля и степени износа футеровки и другими факторами. Поскольку в процессе нормальной работы мельницы вышеуказанные факторы являются переменными величинами, силы внутреннего трения изменяются, и однозначно судить о шаровой загрузке мельницы только по активной мощности приводного двигателя мельницы не представляется возможным [5].

Процесс измельчения материала в шаровой мельнице сопровождается излучением звуковой энергии, возникающей из-за соударений шаров и материала друг с другом и о футеровку. Считается, что сила звука, излучаемого мельницей, зависит от величины загрузки мельницы рудой [6].

Одним из известных методов является контроль акустического или вибрационного шума мельницы. Наиболее известными являются разработки ОАО «Союзцветметавтоматика» «Звук-7» (акустический шум) и УРК-3 (вибрационный шум). Однако эти разработки устарели, как по принципу измерения, так и по элементной базе. Развитием этих разработок является виброакустический анализатор ВАЗМ-1, который является универсальным интеллектуальным прибором нового поколения, реализованном на базе РС-совместимого контроллера. Прибор использует три типа шумовых параметров: акустический шум, вибрационный шум, энергетический шум.

Однако, некоторое повышение точности характеристик прибора достигается за счет обработки трех видов сигналов, а не за счет формирования информативных признаков для контроля объемного заполнения мельниц рудой.

Вышесказанное подтверждает вывод о целесообразности выбора и разработки перспективных методов контроля технологических объектов управления по процессам, сопровождающим функционирование технологических объектов управления.

#### **Формулировка цели и задачи исследований**

Целью работы является обоснование метода звукометрического контроля перегрузки шаровых барабанных мельниц рудой на основе закономерностей изменения показателя Херста звукометрического сигнала.

#### **Изложение основного материала исследований**

Важным параметром, характеризующим различные типы временных рядов, является показатель Херста [7].

Для выборочного случайного вектора  $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_N]$  можно определить выборочное среднее  $M$

$$M = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k, \quad (1)$$

выборочную дисперсию  $S^2$

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - M)^2, \quad (2)$$

и интегральное отклонение  $D_j$

$$D_j = \sum_{k=1}^N x_k - jM, \quad (3)$$

где  $N$  – размерность вектора  $\mathbf{X}$ ,  $j=1..N$ .

Изменчивость случайного процесса  $R_N$  на интервале  $N$  определяется как неубывающая функция длины интервала

$$R_N = \max_{1 < j < N} D_j - \min_{1 < j < N} D_j. \quad (4)$$

Херстом было показано, что для большинства естественных процессов при больших значениях  $N$  выполняется соотношение

$$\frac{R}{S} \approx (aN)^H, \quad (5)$$

или иначе

$$\log \left( \frac{R}{S} \right) \approx H \log(aN), \quad (6)$$

где  $R/S$  – нормированный размах от накопленного среднего,  $N$  – число наблюдений,  $a$  – некоторая константа,  $H$  – показатель Херста.

Имеются три различных классификации для показателя Херста:

1)  $H = 0,5$ . Указывает на *случайный* ряд. События случайны и некоррелированы. Настоящее не влияет на будущее. Функция плотности вероятности может быть нормальной кривой, однако, это не обязательное условие.  $R/S$ -анализ может классифицировать произвольный ряд, безотносительно к тому, какой вид распределения ему соответствует.

2)  $0 \leq H < 0,5$ . Данный диапазон соответствует *антиперсистентным*, или

*эргодическим*, рядам. Такой тип системы часто называют – «возврат к среднему». Если система демонстрирует «рост» в предыдущий период, то, скорее всего, в следующем периоде начнется спад. И наоборот, если шло снижение, то вероятен близкий подъем. Устойчивость такого антиперсистентного поведения зависит от того, насколько  $H$  близко к нулю. Такой ряд более изменчив, чем ряд случайный, так как состоит из частых реверсов спад-подъем.

3)  $0,5 < H < 1,0$ . Имеем *персистентные*, или *трендоустойчивые* ряды. Если ряд возрастает (убывает) в предыдущий период, то, вероятно, что он будет сохранять эту тенденцию какое-то время в будущем. Чем ближе  $H$  к 0,5, тем более зашумлен ряд и тем менее выражен его тренд. Персистентный ряд – это обобщенное броуновское движение, или смещенные случайные блуждания. Сила этого смещения зависит от того, насколько  $H$  больше 0,5.

Существует еще и четвертая характеристика показателя Херста, когда  $H > 1$ . В этом случае говорят о статистике Леви и о процессе (или временном ряде) с фрактальным временем, о временных точках разрыва производной. Это означает, что происходят независимые скачки амплитуды, распределенные по Леви за время, определенное величиной скачка, и растущее вместе с ним. Дисперсия приращения за данный интервал времени становится конечной, траектория в фазовом пространстве сохраняет свой вид, но появляется новый фрактальный объект - временные точки разрыва производной.

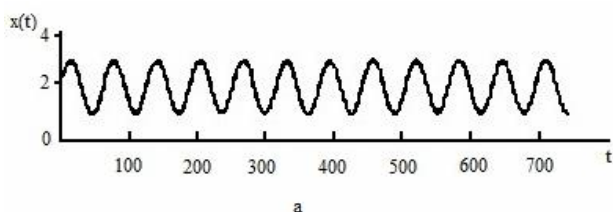
Для очень большого количества наблюдений  $N$  можно ожидать сходимости ряда к величине  $H=0,5$ , так как эффект памяти уменьшается до того уровня, когда становится незаметным. Другими словами, в случае длинного ряда наблюдений можно ожидать, что его свойства станут неотличимы от свойств обычного броуновского движения, или простого случайного блуждания, поскольку эффект памяти рассеивается.

Для функции на рис. 1, *a* показатель Херста  $H=0,289$ , для функции на рис. 1, *б* показатель Херста  $H=0,482$ . Для синусоидальных функций с увеличением периода функции показатель Херста приближается к  $H=0,5$ . Это говорит о «приближении» функции к прямой.

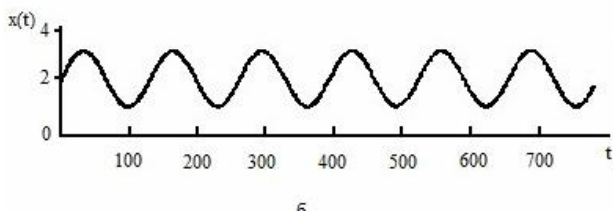
Для функции на рис. 2, *a* показатель Херста  $H=0,893$ , для функции на рис. 2, *б* показатель Херста  $H=0,827$ . В этих функциях явно выражена трендоустойчивость и периодичность.

Таким образом, из приведенных примеров видна взаимосвязь между видом функции и показателем Херста, что говорит о возможности его использования для классификации функций и различных рядов.

Использование показателя Херста для определения момента изменения характеристик сигнала позволяет предложить метод автоматического контролю перегрузки барабанных мельниц рудой.

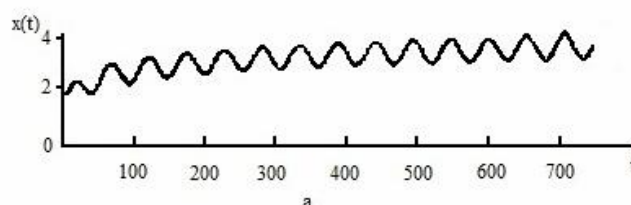


а

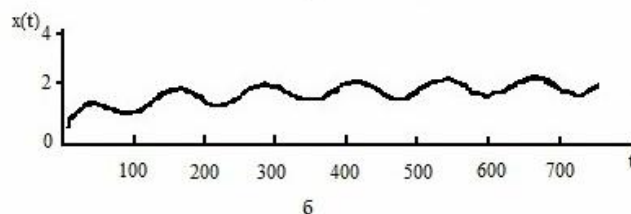


б

Рис.1. Графики функций без тренда



а



б

Рис.2. Графики функций, имеющие тренд

Идея метода состоит в определении момента времени изменения характеристик звукометрического сигнала или сигнала активной мощности двигателя мельницы, по которым контролируется перегрузка мельницы рудой.

Анализ сигналов с помощью показателя Херста имеет существенные преимущества в сравнении с преобразованием Фурье, так как позволяет анализировать нестационарные случайные сигналы, характеризующие загрузку мельницы рудой.

### Выводы

1. Предложенные метод контроля перегрузки барабанных мельниц рудой позволяют более достоверно определять начало перегрузки барабанной мельницы.

2. Исследования целесообразно продолжить в направлении разработки методов контроля перегрузки барабанных мельниц рудой на основе применения показателя Херста звукометрического сигнала.

### Список литературы

1. Улитенко К.Я. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии / К.Я. Улитенко // Цветные металлы. Специальный выпуск. – 2005. – № 10. – С. 54–60.
2. Гринман И.Г. Измерения степени загрузки мельницы рудой с помощью телеизмерительного датчика / И.Г. Гринман, Ж.М. Сакбаев, Ж.Р. Жотобаев // Обогащение руд. – 1962. – №1. – С. 27–29.
3. Гейзенблазен Б.Е. Разработка и исследования радиоизотопного измерителя заполнения мельниц мокрого самоизмельчения / Б.Е. Гейзенблазен, Л.Т. Лорман, М.Н. Левченко // Обогащения руд. – 1978. – №2. – С.38–41.
4. Гончаров Ю.Г. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках / Ю.Г. Гончаров, А.С. Давидкович, Б.Е.Гейзенблазен. – М.: Недра, 1968. – 277 с.
5. Марюта А.Н. Зависимости энергетических параметров электродвигателя шаровой мельницы от загрузки ее шарами и измельчаемым материалом / А.Н. Марюта, Е.В. Кочура // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1973. – №2. – С. 23–28.
6. Утеуш Э.В. Управление измельчительными агрегатами / Э.В. Утеуш, З.В. Утеуш – М.:

Машиностроение, 1973. – 280 с.

7. Федер Е. Фракталы [Текст] / Е. Федер – М.: Мир, 1991. – 254 с.

*Рекомендовано до друку: професором Слесарєвим В.В.*