

**В. И. Дмитриев**

ГВУЗ "НГУ", Днепр, Украина

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СПИРАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА

*Automation of technology and processes of mining production cause the development of specific methods of control of process parameters. The performance of sand spiral classifier in a closed cycle of ore dressing determines the parameter of a recycle stream of sand material and is a part of various automatic control systems. Well known attempts to develop such controls have not led to their widespread use.*

*The proposed control method is based on the technology and the laws of the formation and transport stream of sand classifier. Information control signal is formed by the following structures: spiral classifier, spiral drive mechanism, the electric engine, the inverter of active power, power filters, power integration, means of display and input to the control system. It is based on the regularity of transportation and dumping of sand portions concluded between the turns of the spiral. Modeling of electromechanical systems spiral drive showed the possibility of passage of the information signal on a double reverse frequency pitches dropping.*

*A dropping device control and its implementation are developed. The experimental studies have confirmed its efficiency, the assessment of the relative error does not exceed  $\pm 10\%$ .*

*Methods of control device calibration is based the on the use of the sand portion and the evaluation of its mass. Modeling of volume portions is done and calculation formula of performance evaluation is obtained. Research under concentrators confirmed the possibility of using it for a rapid assessment of performance and calibration.*

**Ключевые слова:** рудоподготовка, спиральный классификатор, структура системы автоматического контроля, моделирование, методы градуировки, экспериментальные исследования.

### Постановка проблемы

Автоматический контроль и измерение параметров технологических процессов обеспечивает возможность создания систем автоматического управления. Специфические особенности процессов горнорудного производства обуславливают особые требования к методам и средствам измерения и контроля, методам градуировки. Большие материальные потоки руды и ее измельченного продукта, сложность и большая материалоемкость применяемого оборудования затрудняют применение известных методов и средств контроля, методов градуировки, требуют создания специальных устройств и систем.

Спиральный классификатор в процессах рудоподготовки технологии обогащения обеспечивает классификацию измельченной в мельнице руды методом осаждения частиц в водной среде. Выпавшие в осадок частицы руды (пески), с помощью вращающейся двух заходной спирали возвращаются на доизмельчение, причем пески передвигаются и сбрасываются в транспортный желоб порциями, заключенными между витками спирали. Эта технологическая особенность положена в основу разработанного метода и средства контроля и метода градуировки.

### Анализ известных исследований и публикаций

Спиральный классификатор в процессах рудоподготовки образует с мельницей замкнутый цикл измельчения (ЗЦИ) и формирует поток рецикла. Как отмечено во многих источниках специальной литературы, например [1], рецикл, его расход (производительность) является прямой характеристикой процесса рудоподготовки в ЗЦИ и его контроль позволят создать эффективные системы автоматического управления. В известных источниках, например [2, 3], приводится достаточно много разработок для контроля производительности спирального классификатора по рециклу (пескам), однако они не получили достаточного распространения из-за значительной погрешности или сложности в применении.

**Цель данной работы** состоит в представлении материалов по разработке системы автоматического контроля (САК) производительности спирального классификатора по пескам (рециклу), метода градуировки, результатов экспериментальных исследований.

### Изложение основного материала

Технологически спираль (рис. 1) классификатора  $C_k$  вращается с помощью электромеханической

системы привода, в составе механического редуктора  $P$  и приводного асинхронного электродвигателя  $D$ .

Дискретный характер сбрасывания порций песков в желоб приводит к появлению динамической составляющей в потребляемой активной мощности приводным электродвигателем  $D$ .

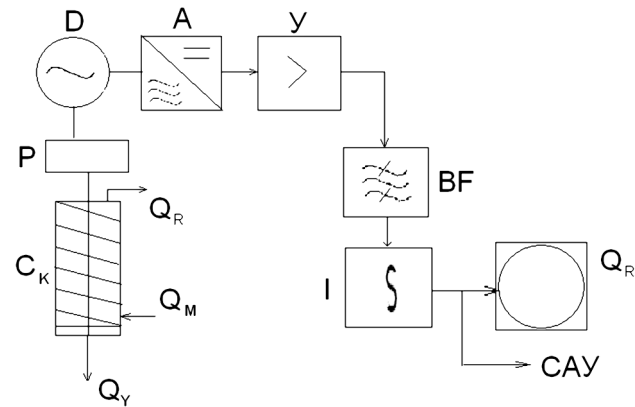


Рис. 1. Структурная блок-схема реализации системы автоматического контроля, где  $C_k$  — спиральный классификатор;  $Q_m$  и  $Q_r$  — материальные потоки измельченной руды из мельницы и рецикла ЗЦИ;  $P$  — механический редуктор;  $D$  — приводной асинхронный электродвигатель;  $A$  — измерительный преобразователь активной мощности;  $Y$  — усилитель сигнала с выхода преобразователя  $A$ ;  $BF$  — блок полосового фильтра;  $I$  — блок интегрирования сигнала;  $Q_r$  — показывающий и регистрирующий прибор;  $CAU$  — система автоматического управления.

Используем известное [4] уравнение движения электропривода

$$M = M_c + M_d, \quad (1)$$

где  $M$  — полный момент на валу электродвигателя;  $M_c$ ,  $M_d$  — статическая и динамическая составляющие момента.

Можно показать, что динамическая составляющая потребляемой активной мощности

$$P_d = \pm K \cdot \Delta m \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (2)$$

где  $\omega$  — скорость вращения системы, приведенная к валу электродвигателя;  $K$  — коэффициент пропорциональности;  $m$  — приведенная масса системы, а  $\Delta m$  — ее изменение с частотой  $(\omega t)$ , обусловленное периодическим, дискретным сбрасыванием порций песков.

Периодическое сбрасывание порций песков формирует информационный сигнал, который передается электромеханической системой привода и, соответственно, изменяет потребляемую активную мощность. Важной особенностью его является то, что спираль имеет два захода и, соответственно, дважды за один оборот сбрасывает порции песков. Это обуславливает частоту колебаний для известных применяемых спиральных классификаторов в диапазоне  $(0,05...0,1)$  Гц. Получение информационного сигнала на двойной оборотной инфранизкой частоте значительно увеличивает его помехозащи-

щенность, так как основные помехи динамического момента возникают на оборотной частоте.

Моделирование моментных характеристик электромеханической системы методом теории цепей [5] показало возможность оценки расхода (производительности) песков по амплитуде колебаний (2), так как в указанном диапазоне частот она имеет линейные характеристики передачи сигнала. Экспериментальные исследования в условиях производства подтвердили полученные оценки и позволили сформировать структуру системы автоматического контроля производительности спирального классификатора в виде, представленном на рис. 1. Здесь сигнал с выхода преобразователя активной мощности  $A$  подается на усилитель  $Y$ , где выделяется его динамическая составляющая и усиливается до необходимого уровня для информационного сигнала. На полосовом блоке фильтров  $BF$  выделяется амплитуда сигнала на двойной оборотной частоте.

Использование инфранизкочастотного диапазона обусловило выбор интервала времени интегрирования, обеспечивающего его использование в системе управления. Экспериментально получено, что оно дает удовлетворительные характеристики в интервале  $(5...10)$  ТК, где ТК — время одного периода колебаний, так как временные характеристики переходных процессов в ЗЦИ ТК102 сек.

На основании блок-схемы (рис. 1) разработаны экспериментальные образцы устройств автоматического контроля типа УКПП. Их исследования в системах САК и CAU подтвердили работоспособность и эффективность. Относительная погрешность не превышала  $\pm 10\%$ , как в режимах разовых исследований, так и в режимах длительной опытной эксплуатации на интервале межремонтного периода эксплуатации спирального классификатора, что обеспечивает задачи автоматического управления.

Базовая идея использования дискретного сбрасывания порции песков рецикла для САК положена в основу разработки методики оценки расхода по рециклу (производительности) для спирального классификатора. В [6] рассмотрены известные методы экспериментальных оценок производительности. Однако они не получили значительного применения из-за сложности, большой погрешности, одновременного использования нескольких параметров ЗЦИ и т. д. Известная методика оценки и широко применяемая в технологии лабораторных исследований на обогатительных фабриках — по балансу “расчетного” класса крупности в потоках ЗЦИ обладает значительной погрешностью (до 30%), требует значительных трудовых затрат по отбору и анализу проб в потоках ЗЦИ. Для получения одного значения производительности требуется не менее 0,5 часа.

Предлагаемая методика основана на моделировании порции песков между спиральными классификатора, формализована в виде кругового усеченного конуса, который основанием располагается на плоскости

спирали, сечение его представляется плоскостью поверхности порции параллельной горизонту. Расчетный объем порции определяется по выражению [6]

$$V_p = f_p(D, r_b, \gamma, \alpha, b), \quad (3)$$

где приведенные параметры характеризуют конструктивные характеристики спирали,  $D$  — диаметр спирали,  $r_b$  — радиус вала спирали,  $\gamma$  — угол наклона оси вала спирали к горизонту, параметр  $b$  — высота порции, определяемая специальным зондом по вертикали к линии горизонта в нижнюю точку касания боковой поверхности конуса и плоскости спирали, по мокрой части зонда.

Для приведения к оценке реального объема порции  $V$  песков используются корректирующие коэффициенты по высоте порции  $b$  и по расчетному объему порции  $V_p$ .

Производительность спирального классификатора определяется выражением

$$\begin{aligned} Q_R &= M_T \cdot Z \cdot n \cdot 60, \\ M_T &= V \cdot \rho_n \cdot T, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $M_T$  — масса порции песков;  $Z=2$  — количество заходов спирали;  $n$  — количество оборотов спирали; 60 — коэффициент приведения к часовой производительности;  $\rho_n$  — текущая плотность порции песков;  $T$  — содержание твердой фазы в порции песков.

Параметры  $b$  и  $\rho_n$  определяют в текущем режиме работы по специальной методике МЗП. На основании выражения (4) разработана специальная двухкоординатная таблица значений производительности для конкретного типа классификатора. Здесь по значениям  $b$  и  $\rho_n$  определяют текущие значения  $Q_R$  на данный момент времени. Как показали экспериментальные исследования, для получения одного значения  $Q_R$  необходимо 2...3 мин, что позволяет применить ее для оперативной оценки  $Q_R$  и градуировки средств измерения и контроля.

Метрологические исследования основаны [7] на построении градуировочных характеристик в реальных условиях обогатительных фабрик, оценке их статистических характеристик и построении уравнений регрессии. Эти исследования проводились как в разовых экспериментальных исследованиях, так и в режиме длительных исследований на протяжении межремонтного периода классификатора, до одного года эксплуатации. Градуировочные характеристики разовых исследований были объединены в единую группу данных и дана ее единая статистическая оценка. В результате метрологических исследований на всех этапах оценка относительной ошибки измерения не превышала  $\pm 10\%$ .

Разработана [8] методика МЗП измерения для оценки производительности спирального классификатора  $Q_R$ . Методика опробована на нескольких железорудных обогатительных фабриках для градуировки САК.

Для базовой оценки производительности  $Q_R$  разработана методика МОВП, которая основана на прямом отборе и взвешивании порции песков в условиях конкретного типа спирального классификатора при его остановке и характеристик измельчаемой руды. В сравнении с методикой по балансу расчетного класса крупности относительная погрешность уменьшается в 3...4 раза, а среднее квадратическое отклонение значений относительно среднего значения не превышает (4...5)%.

## Выводы

Представленная разработка системы автоматического контроля, устройство УКПП и методика МЗП основаны на общем основании — порции песков спирального классификатора, что позволяет применять устройство УКПП в системах автоматического управления, оперативно оценивать значения параметра производительности  $Q_R$  для градуировки и контроля в условиях обогатительных фабрик по методикам МЗП и МОВП и при этом относительная погрешность не превышает  $\pm 10\%$ .

## Список литературы

- [1] Троп А. Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: учебное пособие / А. Е. Троп, В. З. Козин, Е. В. Прокофьев. — М.: Недра, 1986. — 303 с.
- [2] Кошарский Б. Д. Автоматизация управления и контроль на обогатительных фабриках / Б. Д. Кошарский, А. Я. Ситковский. — М.: Недра, 1998. — 256 с.
- [3] Козин В. Э. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках / В. Э. Козин, А. Е. Троп. — М.: Недра, 1985. — 280 с.
- [4] Дементьев Ю. Н. Электрический привод: учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев. — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — 232 с.
- [5] Дружинский И. А. Механические цепи / И. А. Дружинский. — Л.: Машиностроение, 1987. — 240 с.
- [6] Дмитриев В. И. Экспериментальные методы оценки производительности по рециклу в замкнутых циклах измельчения / Материалы М. Н. Т. конф. Форум гірників — 2015. 30 вересня — 03 жовтня. — Дніпропетровськ: НГУ. — 2015. — С. 160–168.
- [7] Семенов Л. А. Методы построения градуировочных характеристик средств измерений / Л. А. Семенов, Т. Н. Сирая. — М.: Изд-во стандартов, 1986. — 128 с.
- [8] Дмитриев В. И. Математическое моделирование технологического параметра / Проблемы математичного моделювання: матеріали М. Н. Т. конф. 27–29 травня 2015 р. — Дніпропетровськ: Біла. — 2015. — С. 28–30.