

Н.В. Осипова, В.Т. Самойлова

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В КОНЦЕНТРАТЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ РУДЫ

Приведен обзор исследований в области автоматизации процесса мокрой магнитной сепарации железной руды. Рассмотрены основные достоинства и недостатки САУ данным процессом. Предложена модель системы регулирования, позволяющая оценить влияние возмущающих факторов, нарушающих работу магнитного сепаратора, на качество стабилизации магнетитового железа в концентрате.

Ключевые слова: магнитная сепарация, концентрат, хвосты, нечеткая логика, мельница, классификатор, асинхронный привод, статор, ротор, ПИ-регулятор.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-139-143

Магнитная сепарация железных руд является одним из основных процессов в обогащении полезных ископаемых, который состоит из нескольких стадий. Он применяется для разделения рудного потока на две фракции по магнитной восприимчивости: хвосты и концентрат. Показателем качества выходных продуктов сепаратора служит массовая доля железа, во многом определяющая стоимость товарной продукции горно-обогатительного комбината [9–12].

В работах [1, 5] предложены алгоритм и модель системы управления процессом магнитной сепарации, позволяющие прогнозировать массовую долю железа на основе правил нечеткой логики. В качестве управляющих воздействий выбраны расход руды в мельницу, осуществляющей ее размол перед сепарацией, и воды в классификатор, обеспечивающий возврат недоизмельченного крупного класса руды обратно в мельницу.

В способе управления процессом обогащения железных руд [7] качество сепарации регулируют, изменяя производительность по исходной руде в зависимости от температуры технологической воды.

Однако все перечисленные САУ обладают большим запаздыванием, являются нелинейными и могут быть использованы только на первой стадии магнитного обогащения.

Поэтому задача разработки системы регулирования содержания железа в концентрате является актуальной задачей.

В настоящей статье рассматривается САУ, позволяющая устранить выше приведенные недостатки. В качестве управляющего воздействия, влияющего на содержание железа β_k , выбрана частота оборотов барабана сепаратора ω_c .

Известно, что нестабильность свойств рудного сырья, вызывает нарушение режима работы обогатительных агрега-

тов, что проявляется в дрейфе их статических характеристик [4, 6]. Для сепаратора такой характеристикой является зависимость содержания железа в концентрате β_k от частоты вращения барабана сепаратора ω_c и коэффициента k_c ее наклона $\beta_k = f(\omega_c, k_c)$, которая аппроксимируется линейной функцией с достаточно высокой точностью [4]. При этом дрейфу подвержен коэффициент пропорциональности k_c .

Модель системы регулирования содержания магнетитового железа в концентрате позволит оценить его отклонение от планового показателя и определить время выхода в установившийся режим работы магнитного сепаратора при изменении физико-механических свойств пульпы.

Модель системы регулирования содержания математическое описание асинхронного привода барабанного магнитного сепаратора с короткозамкнутым ротором двух контуров регулирования [2, 8]:

- контура регулирования тока статора i_s с передаточной функцией $W_{U_i}(p)$ по каналу напряжение на обмотке статора U — ток i_s :

$$W_{U_i}(p) = \frac{k_i}{T_i p + 1},$$

$$k_i = \frac{1}{R_s + \left(\frac{L_m}{L_R}\right)^2 \cdot R_R},$$

$$T_i = k_i \cdot \left(L_s - \frac{L_m^2}{L_R}\right),$$

где k_i — коэффициент передачи, A/B ; T_i — постоянная времени, с; R_s, R_R — сопротивление обмотки статора и ротора соответственно, Ом; L_s, L_R — индуктивности обмоток статора и ротора соответственно, Гн; L_m — взаимная индуктивность обмоток, Гн;

- контура регулирования частоты вращения барабана сепаратора ω_c , представленного передаточными функциями по двум каналам: ток статора i_s — электромагнитный момент M двигателя $W_{i_M}(p)$, момент M — частота ω_c вращения барабана сепаратора $W_{M_\omega}(p)$:

$$W_{i_M}(p) = 1,5p \frac{L_m}{L_R} \psi_R, \quad W_{M_\omega}(p) = \frac{1}{Jp},$$

где ψ_R — потокосцепление ротора, Вб; p — передаточное число редуктора; J — момент инерции ротора, $кг \cdot м^2$.

Также модель включает внешний контур регулирования содержания магнетитового железа с передаточной функцией $W_{\omega_\beta}(p)$ [7]:

$$W_{\omega_\beta}(p) = \frac{k_c}{T_c p + 1},$$

где k_c — коэффициент передачи сепаратора, $\%/(об/мин)$; T_c — его постоянная времени, с.

В каждый из контуров включен ПИ-регулятор с передаточной функцией $W_{per}(p)$:

$$W_{per}(p) = k_n + k_i \frac{1}{p},$$

где k_n, k_i — коэффициенты пропорциональности и интегрирования регулятора.

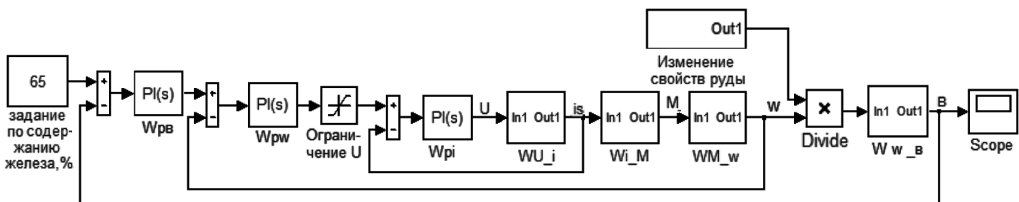


Рис. 1. Схема модели системы регулирования содержания магнетитового железа в концентрате

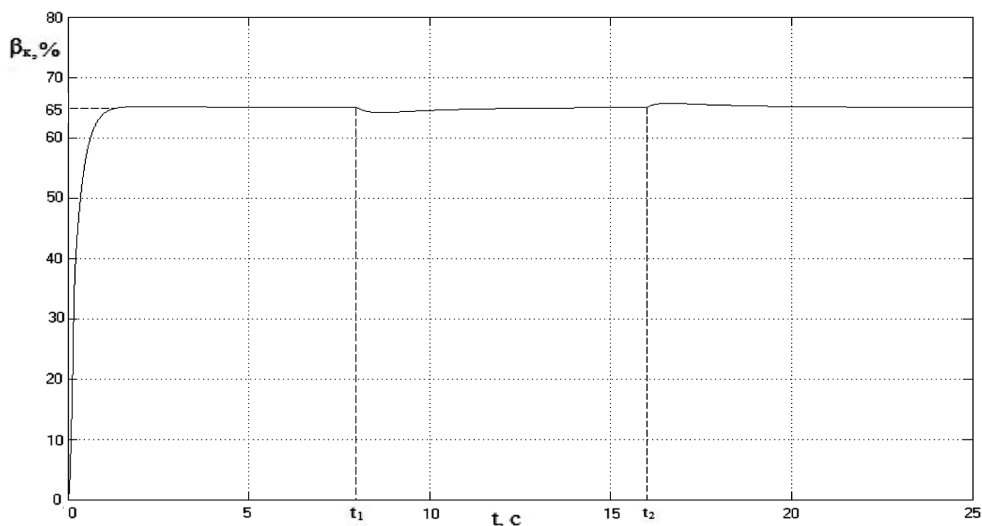


Рис. 2. Переходной процесс изменения содержания магнетитового железа в концентрате

Схема моделирования системы регулирования в программе Matlab Simulink представлена на рис. 1.

Блок «Изменение свойств руды» генерирует различные значения коэффициента передачи сепаратора k_c . Настройка регуляторов W_{pi} , W_{po} , W_{pb} осуществлялась при помощи встроенного в Matlab приложения PID tuner.

Результаты моделирования системы приведены на рис. 2. Содержание магнетитового железа в концентрате, поддерживаемое системой на заданном уровне было взято равным 65%.

Из полученных переходных процессов следует, что при изменении свойств пульпы в моменты t_1 и t_2 перерегулирование достаточно мало и не превышает 0,83%.

Это является достаточно хорошим показателем, так как допуски по отклонению β_k согласно ТУ 39 00 РК 00186789 АО-35-2004 должны быть не более 1%

[3]. Время регулирования в среднем не превышает 7 с, что меньше периода изменения свойств пульпы [6].

На основании результатов моделирования можно сделать следующие выводы:

- для поддержания стабильного качества концентрата следует использовать в составе АСУ ТП обогатительной фабрики систему регулирования содержания железа на выходе процесса мокрой магнитной сепарации;
- применение системы подчиненного трехконтурного регулирования с пропорционально-интегральным законом управления позволяет стабилизировать содержание железа в концентрате на заданном уровне с перерегулированием не более 0,83% и временем выхода в установившийся режим не более 7 с при изменении режима работы магнитного сепаратора ввиду нестабильности свойств пульпы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борщ Т. В. Нечеткий регулятор массовой доли железа в концентрате по сигналу магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора // Научный вестник НГУ. — 2013. — № 4. — С. 90–94.
2. Герман-Галкин С. В. Проектирование мехатронных систем на ПК: Учебное пособие. — СПб.: КОРОНА-Век, 2008. — 368 с.

3. Горно-обогатительное оборудование. URL: <http://www.obogatitelnoe-oborudovanie.ru/content/обогащение> (дата обращения 30.05.2017).
4. Марюта А. Н., Качан Ю. Г., Бунько В. А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: Учебник для вузов. — М.: Недра, 1983. — 277 с.
5. Моркун Н. В. Адаптивная система управления процессом магнитной сепарации железных руд на базе средств ультразвукового контроля: Дис. ... канд. техн. наук. — Кривой Рог: Криворожский технический университет, 2005. — 188 с.
6. Нестеров Г. С. Технологическая оптимизация обогатительных фабрик. — М.: Недра, 1976. — 120 с.
7. Бикбов М. А., Самохвалов И. П. Патент РФ № 2324541, 20.05.2008. Способ управления процессом обогащения железных руд. 2008. Бюл. № 14.
8. Chandra Sekhar J. N., Marutheswar G. V. Optimal torque ripple control of asynchronous drive using intelligent controllers, *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ)*. 2013. vol. 5, no 3. pp. 1–12.
9. Dworzanowski M. Maximizing the recovery of fine iron ore using magnetic separation, *Journal South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2012. vol. 112, no 3. pp. 197–202.
10. Ranjan Kumar Dwari, Danda Srinivas Rao, Palli Sita Ram Reddy. Magnetic separation studies for a low grade siliceous iron ore sample, *International Journal of Mining Science and Technology*. 2013. vol. 23, pp. 1–5.
11. Tao Su, Tiejun Chen, Yimin Zhang, Peiwei Hu. Selective Flocculation Enhanced Magnetic Separation of Ultrafine Disseminated Magnetite Ores, *Minerals*. 2016. vol. 86, no 6. pp. 1–12.
12. Xianlin Zhou, Deqing Zhu, Jian Pan, Yanhong Luo, Xinqi Liu. Upgrading of High-Aluminum Hematite-Limonite Ore by High Temperature Reduction-Wet Magnetic Separation Process, *Metals*. 2016. vol. 57, no 6. pp. 1–12. **PLoS**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Осипова Нина Витальевна¹ — кандидат технических наук, доцент,
e-mail: nvo86@mail.ru,

Самойлова Вероника Тимуровна¹ — магистрант, e-mail: nika_samojlova@mail.ru,
¹ НИТУ «МИСиС».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 9, pp. 139–143.
UDC 622.778-913.3

N.V. Osipova, V.T. Samoylova

MODEL OF REGULATION SYSTEM FOR IRON CONTENT OF MAGNETIC SEPARATION CONCENTRATE

In this paper, we review the research in the field of automation of the process of wet magnetic separation of iron ore. The main advantages and disadvantages of the automatic control system for the given process are considered. A model of a control system is proposed that allows one to evaluate the effect of perturbing factors disturbing the operation of a magnetic separator on the quality of stabilization of magnetite iron in a concentrate.

Key words: magnetic separation, concentrate, tails, fuzzy logic, mill, classifier, asynchronous drive, stator, rotor, PI controller.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-139-143

AUTHORS

Osipova N.V.¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: nvo86@mail.ru,

Samoylova V.T.¹, Master's Degree Student, e-mail: nika_samojlova@mail.ru,

¹ National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Borshch T.V. *Nauchnyy vestnik NGU*. 2013, no 4, pp. 90–94.
2. German-Galkin S.V. *Proektirovanie mekhatronnykh sistem na PK*: Uchebnoe posobie (Computer-aided design of mechatronic systems: Educational aid), Saint-Petersburg, Korona-Vek, 2008, 368 p.
3. *Gorno-obogatitel'noe oborudovanie*, available at: <http://www.obogatitelnoe-oborudovanie.ru/content/обогащение> (accessed 30.05.2017).
4. Maryuta A.N., Kachan Yu. G., Bun'ko V.A. *Avtomaticheskoe upravlenie tekhnologicheskimi protsessami obogatitel'nykh fabrik*: Uchebnik dlya vuzov (Automated control of process flows at concentration factories: Textbook for high schools), Moscow, Nedra, 1983, 277 p.
5. Morkun N.V. *Adaptivnaya sistema upravleniya protsessom magnitnoy separatsii zheleznykh rud na baze sredstv ultrazvukovogo kontrolya* (Adaptable control system for iron ore magnetic separation based on the ultrasound control), Candidate's thesis, Krivoy Rog, KTU, 2005, 188 p.
6. Nesterov G.S. *Tekhnologicheskaya optimizatsiya obogatitel'nykh fabrik* (Technological optimization of concentration factories), Moscow, Nedra, 1976, 120 p.
7. Bikbov M.A., Samokhvalov I.P. *Patent RU 2324541*, 20.05.2008.
8. Chandra Sekhar J.N., Marutheswar G.V. Optimal torque ripple control of asynchronous drive using intelligent controllers, *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ)*. 2013. vol. 5, no 3. pp. 1–12.
9. Dworzanowski M. Maximizing the recovery of fine iron ore using magnetic separation, *Journal South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2012. vol. 112, no 3. pp. 197–202.
10. Ranjan Kumar Dwari, Danda Srinivas Rao, Palli Sita Ram Reddy. Magnetic separation studies for a low grade siliceous iron ore sample, *International Journal of Mining Science and Technology*. 2013. vol. 23, pp. 1–5.
11. Tao Su, Tiejun Chen, Yimin Zhang, Peiwei Hu. Selective Flocculation Enhanced Magnetic Separation of Ultrafine Disseminated Magnetite Ores, *Minerals*. 2016. vol. 86, no 6. pp. 1–12.
12. Xianlin Zhou, Deqing Zhu, Jian Pan, Yanhong Luo, Xinqi Liu. Upgrading of High-Aluminum Hematite-Limonite Ore by High Temperature Reduction-Wet Magnetic Separation Process, *Metals*. 2016. vol. 57, no 6. pp. 1–12.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН (2017. № 6, СВ 13, 12 с.)

Toshov Javohir Buriyevich — кандидат технических наук, доцент, декан, e-mail: javokhir.toshov@yandex.ru, Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, Узбекистан,
*Bronnikov Igor' Dmitriyevich*¹ — кандидат технических наук, доцент, e-mail: igbron@mail.ru,
*Nahangov Hojiakbar Nurmatovich*¹ — аспирант, e-mail: hoji79@mail.ru,

¹ Российский Государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

Рассмотрено новое решение задачи повышения эффективности бурения геологоразведочных скважин путем создания новых конструкций одношарошечных долот, обеспечивающих увеличение скорости бурения и снижение энергетических затрат.

Ключевые слова: горная порода, бурение, одношарошечное долото,

WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF DRILLING EXPLORATION WELLS

Toshov J.B., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Dean,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 100095, Tashkent, Uzbekistan,
*Bronnikov I.D.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
*Nahangov H.N.*¹, Graduate Student,

¹ Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, 117997, Moscow, Russia.

The article describes a new solution to the problem of increasing the efficiency of drilling exploration wells by creating new designs of bits, providing increasing drilling speed and reducing energy costs.

Rock, drilling, one-cutter drilling bit.