

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Н.В. Осипова (НИТУ «МИСиС»)

Рассмотрена система автоматического управления (САУ) мокрой магнитной сепарацией железной руды, реализующая способы регулирования для стабилизации содержания железа в концентрате и снижения его потерь в хвостах мокрой магнитной сепарации на обогатительных фабриках. Приведена структурная схема системы управления. Разработана виртуальная модель САУ магнитного сепаратора, используемая в учебно-лабораторном стенде на кафедре автоматизации НИТУ «МИСиС».

Ключевые слова: магнитная сепарация, САУ, математическая модель, концентрат, хвосты, содержание железа в пульпе.

Введение

Обогащение полезных ископаемых включает целый комплекс операций и методов, в результате которых происходит разделение металлов и минералов по их физико-механическим свойствам. Целью данного процесса является увеличение содержания ценного компонента в сырье путем удаления вредных примесей и пустой породы.

Выделению полезных минералов из горной породы предшествует рудоподготовка, куда входят дробление, грохочение, измельчение и классификация. На данном этапе происходит уменьшение размеров кусков исходного сырья до требуемого класса крупности. Следующим звеном выступает непосредственно сам процесс обогащения. Он включает, как правило, сепарацию, обесшламливание и флотацию, которые осуществляются в водной среде. При этом исходный материал (пульпа) в зависимости от стадии обогащения может разделяться на промежуточный продукт и хвосты либо на концентрат и хвосты. Заключительными этапами являются процессы сгущения, обезвоживания и сушки концентрата.

Магнитный сепаратор как объект управления

Мокрая магнитная сепарация — одна из основных стадий обогащения на железорудных ГОКах. С помощью нее происходит разделение исходного потока пульпы на концентрат с высоким содержанием полезного компонента (железа) и хвосты с незначительной долей ценного элемента. Сепаратор имеет барабан 1, который вращается вокруг оси 2 с определенной частотой, и неподвижную магнитную систему 3, закрепленную у него внутри и создающую магнитное поле в зоне 4. Частицы в пульпе с высокой магнитной восприимчивостью притягиваются к барабану и уносятся в отделение концентрата, а немагнитные смываются в отделение хвостов [1].

Согласно технологическому регламенту обогатительной фабрики, продукты магнитного обогащения должны удовлетворять следующим требованиям: содержание железа общего β_0

и магнетитового β_m в концентрате должно быть заданным с отклонениями, устанавливаемыми техническими условиями, а его потери в хвостах v_0 , v_m могут составлять не более допустимого значения.

Известные на сегодняшний день подходы к регулированию [1–4] позволяют стабилизировать параметры продукции только на первой стадии магнитной сепарации. Для завершающей стадии обогащения разработаны лишь алгоритмы, наиболее подходящие для «ручных» расчетов и применимые, в основном, в целях организации и планирования производства и адаптированные под определенную обогатительную фабрику. Использование их в автоматическом управлении технологическим процессом практически невозможно.

Рассмотрим подход к построению системы автоматического управления (САУ) мокрой магнитной сепарацией железной руды, характеризующийся универсальностью и может быть найден применение на завершающей стадии данного процесса, где изменение режимов измельчительных и классифицирующих аппаратов не представляется возможным. До настоящего времени этот этап не автоматизирован, управление технологическим процессом осуществляется вручную.

Система автоматического управления

В качестве управляющих воздействий для стабилизации содержания железа в концентрате выберем изменение частоты вращения барабана сепаратора, а для регулирования потерь в хвостах — расход воды в ванну сепаратора. Выбор обоснован отсутствием запаздывания между данными воздействиями и выходными показателями. Управление напряженностью поля и зазором между барабаном и лотком не предоставляется возможным, так как требует сильного изменения конструкции сепаратора.

Схема автоматизации процесса мокрой магнитной сепарации представлена на рис. 2. Объект управления включает магнитный сепаратор с асинхронным двигателем 1, приводящим во вращение барабан 2. Посредством регулирующего клапана 3 с бло-

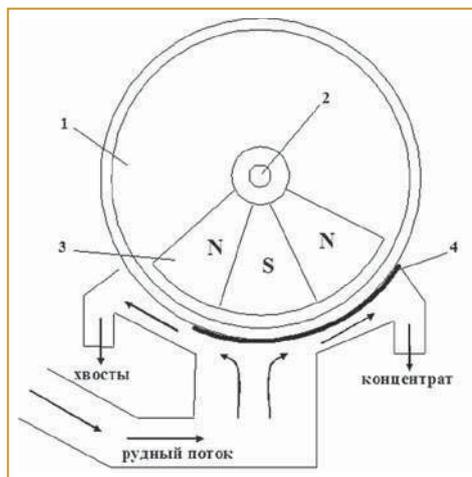


Рис. 1. Схема магнитного сепаратора

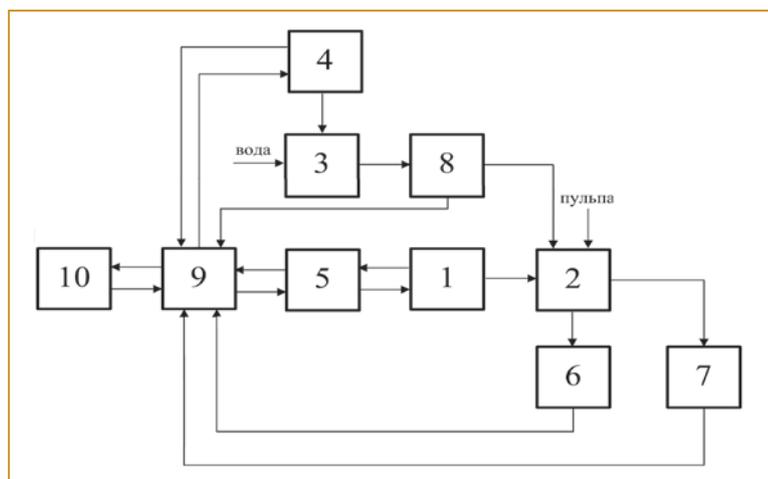


Рис. 2. Схема управления процессом мокрой магнитной сепарации, где 1 – асинхронный двигатель; 2 – барабан сепаратора; 3 – клапан; 4 – блок управления клапаном; 5 – преобразователь частоты; 6 – анализатор содержания магнетита в концентрате; 7 – анализатор содержания магнетита в хвостах; 8 – расходомер воды; 9 – программируемый логический контроллер; 10 – экранная панель

ком управления (БУ) 4 происходит изменение подачи воды в ванну сепаратора. Управление двигателем 1 осуществляется с помощью преобразователя частоты (ПЧ) 5. Содержание железа в концентрате и хвостах измеряется анализаторами 6, 7 соответственно. Расход воды измеряется расходомером 8. Входы и выходы БУ, ПЧ, выходы анализаторов 6, 7 и датчика 8 соединены с модулями ввода-вывода ПЛК 9. К процессору ПЛК подключена экранная панель 10, с которой оператором вводятся режимные параметры для стабилизации показателей обогащения, отработки защит, блокировок и программно-логического управления клапаном и асинхронным двигателем.

В программу управления сепарацией заложены два алгоритма.

1) Алгоритм ПИД-регулирования для стабилизации содержания железа в концентрате.

После ввода оператором требуемых значений каждого из показателей, устанавливаемых технологиче-



Рис. 3. Управление магнитным сепаратором

ским регламентом обогатительной фабрики, выполняется запуск программы ПЛК. Далее вычисляется ошибка $\varepsilon_{\beta}(t)$, то есть разница между содержанием железа в концентрате, введенным оператором, и текущей масштабируемой величиной, полученной с анализаторов 6 и 7. Если $\varepsilon_{\beta}(t)$ отлична от нуля, то программа ПЛК вырабатывает управляющий выходной сигнал.

2) Алгоритм позиционного регулирования для стабилизации потерь железа в хвостах.

Позиционный регулятор управления клапаном подачи воды работает в соответствии со следующим принципом: если разница $\varepsilon_{\nu}(t)$ между текущей масштабируемой величиной потерь железа в хвостах и допустимым значением, введенным оператором, больше нуля, то контроллер вырабатывает сигнал на закрытие клапана. Затем на вход блока управления клапаном подается сигнал с целью уменьшения подачи воды в ванну сепаратора. Если $\varepsilon_{\nu}(t) = 0$, клапан сохраняет свое положение.

САУ магнитной сепарацией была исследована на математической модели, подробно описанной в [5,6]. Модель была запрограммирована в пакете прикладных программ Matlab Simulink.

Учебно-лабораторный стенд

Для отработки принятых архитектурных и алгоритмических решений на кафедре Автоматизации НИТУ «МИСиС» разработан учебно-лабораторный стенд, используемый для проведения занятий по дисциплине «Программное обеспечение систем управления» в рамках подготовки бакалавров по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах».

В основу стенда положена виртуальная модель САУ магнитной сепарацией, отражающая динамику показателей обогащения — содержания магнетитового железа в концентрате и хвостах при скачкообразном изменении задания по частоте вращения барабана и степени открытия клапана. В модели САУ в качестве имитации возмущений используется блок «Изменение свойств пульпы», который генерирует в определенные моменты времени различные значения концентрации железа в пульпе.

Интерфейс оператора процесса магнитной сепарации включает два экрана: «Управление магнитным сепаратором» и «Временные диаграммы».

При включении питания и загрузке экранной панели по умолчанию запускается первый экран (рис. 3). На нем представлен магнитный сепаратор, схематично показаны подводящие трубопроводы с клапаном, регулирующим расход воды, и расходомером, а также трубопровод с потоком железорудной пульпы. На отводящих трубах обозначены анализаторы содержания железа в концентрате и хвостах. У сепаратора также имеется электродвигатель.

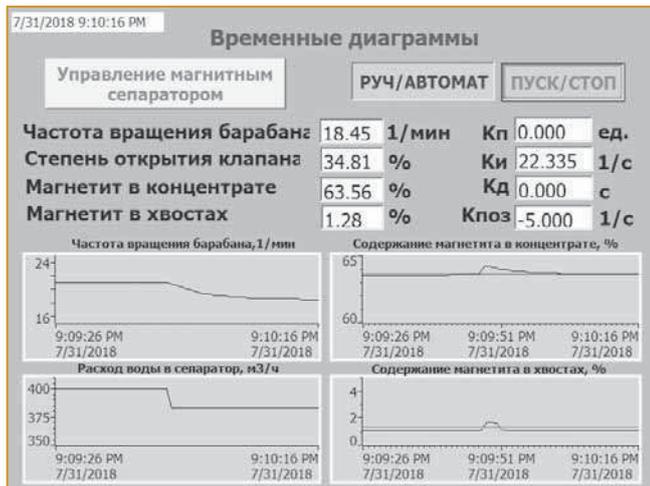


Рис. 4. Временные диаграммы

На данном экране отображается процент открытия клапана, расход воды, частота вращения барабана сепаратора, процентное содержание железа в концентрате и в хвостах. Также имеются переключатель ПУСК/СТОП для активации/деактивации работы экрана, кнопки ON/OFF для управления клапаном, для включения/отключения электродвигателя сепаратора, лампы для сигнализации конечных положений клапана «открыто»/«закрыто», общей неисправности, перегрузки двигателя и переход на экран «Временные диаграммы».

Второй экран демонстрирует переходные процессы технологических показателей обогащения и управляющие воздействия (рис. 4). Верхний график слева показывает частоту вращения барабана сепаратора, снизу от него отображается расход воды в ванне сепаратора. В верхней правой части представлен переходной процесс изменения содержания железа в концентрате, а в нижней правой — временная диаграмма потерь железа в хвостах. С экрана можно задавать настроечные коэффициенты регуляторов, требуемое содержание магнетита в концентрате и хвостах, а также частоту вращения барабана и степень открытия клапана при переключении на ручной режим работы, которое происходит с помощью кнопки «РУЧ/АВТОМАТ».

Стенд позволяет проводить исследования реакции САУ на изменение характеристик пульпы в определенные моменты времени.

На графиках в правой части экрана рис. 4 изменение свойств характеризуется внезапными выбросами

*Найдена неизвестная картина
Казимира Малевича «Черная
квадратура круга».*
Валентин Домиль

железа в концентрате относительно уровня задания, показанного прямой линией. Его содержание в хвостах колеблется, но остается в пределах допустимого значения, также показанного прямой линией. Несмотря на эти возмущения, регуляторы вычисляют управляющие переменные таким образом, чтобы обеспечивался быстрый вывод объекта в режим работы для сохранения требуемых показателей качества.

Заключение

Исследования и численные эксперименты на модели подтвердили возможность автоматизированного управления магнитным сепаратором путем регулирования расхода воды в ванну сепаратора и частоты вращения барабана сепаратора. Отработанные на стенде алгоритмы управления могут быть внедрены на всех стадиях технологического процесса магнитной сепарации, включая завершающую. До настоящего времени завершающая стадия не автоматизирована и выполняется под ручным управлением.

Список литературы

1. Шутов Л.П. Прикладные математические методы в обогащении полезных ископаемых. М.: «Недра», 1972. 168 с.
2. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: Уч. для вузов. М.: «Недра». 1983. 277 с.
3. 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.
4. Ubaj Jusef Salamah Al' Madadha. Nauchnyj vestnik NGU. URL: <http://vde.nmu.org.ua/ua/science/ntz/archive/81/19.pdf> (data obrashhenija: 30.05.2017).
5. Osipova N.V. Model of stabilization of the quality of iron-ore concentrate in the process of magnetic separation with the use of extreme regulation, Metallurgist. 2018. vol. 62, nos. 3-4. pp. 303-309. DOI 10.1007/s11015-018-0660-8.
6. Osipova N.V. The use of Kalman filter in automatic control of indicators of iron ores magnetic concentration, Izvestiya Visshikh Uchebnykh Zavedenii. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2018. vol. 61, iss. 5, pp. 372-377. DOI: <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2018-5-372-377>.

*Осипова Нина Витальевна — канд. техн. наук, доцент НИТУ «Московский институт стали и сплавов», МГТУ им. Н.Э. Баумана, МТУ МИРЭА.
E-mail: nvo86@mail.ru*

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**

через каталоги "Роспечать" **81874** и "Пресса России" **39206** • сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

Адрес редакции: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (495) 334-91-30, (926)212-60-97. E-mail: info@avtprom.ru