

УДК 004.896:622.7:622.341

А.В. АЗАРЯН

ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Украина

ГАРАНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ НА ОСНОВЕ FUZZY-СИСТЕМЫ

Проведен анализ управления технологическим процессом обогащения руд, выявлены основные недостатки. Представлена и проанализирована схема информационных потоков первой стадии обогащения руд. Рассматривается управление стадией технологического процесса на основе FUZZY-системы. Предложен подход управления технологическим процессом обогащения на основе Fuzzy-систем, позволяющий косвенно получать значения основных параметров рудопотока, которые невозможно измерить прямыми методами, что предоставляет более широкие возможности по регулированию и контролю производственного процесса.

Ключевые слова: нечеткая логика, управление технологическим процессом обогащения, железная руда.

Введение

На сегодняшний день информационные технологии применяются практически во всех областях деятельности человека: в промышленности, процессе обучения, управлении сложными технологическими объектами, прогнозировании, проектировании и т.д. Это обусловлено тем, что информационные технологии предоставляют широкий спектр возможностей и инструментов для реализации поставленных задач, позволяющих значительно повысить эффективность выполняемых операций, точность измерений и вычислений благодаря использованию сложных математических моделей.

Значительную часть в экономике Украины занимает горнодобывающая и горнообогатительная промышленность. Это обусловлено наличием достаточно большого объема залежей полезных ископаемых на территории государства, что создает позитивные условия для дальнейшего развития горного дела в отдельных регионах и государстве в целом. Однако, на сегодняшний день остро стоят задачи по контролю технологического процесса обогащения руды: снижению затрат на производство концентрата, стабилизации качества производимого сырья, минимизации потерь полезного компонента в хвостах, увеличения объемов производства на горнообогатительных предприятиях.

1. Современное состояние управления технологическим процессом обогащения

Рудобогатительная фабрика является сложным для управления объектом с достаточно интенсивными потоками данных. Наличие рециклов значительно усложняет процесс контроля физико-механи-

ческих и химико-минералогических параметров исходного рудного сырья. Например, изменение рецикла первой стадии передается в последующие, и процесс обогащения руды в технологической линии нарушается.

Также инерционность данного объекта оказывает значительное влияние на процесс обогащения – разница во времени между поступлением рудопотока на вход и получением концентрата на выходе может достигать двух часов [1].

На данный момент на рудообогатительных фабриках управляющие воздействия весьма ограничены и проявляются в виде регулирования скорости движения конвейерной ленты с сырьем, подачи рудопотока и воды в мельницу и изменении плотности слива в классификаторе. Это связано со сложностью прямого контроля (с помощью датчиков и контролирующих приборов) некоторых параметров рудного сырья, а именно – степени измельчения, крепостью, плотностью, абразивностью и др.

На практике возможно получение вышеперечисленных данных благодаря геологической разведке, опробованию в карьере, при транспортировке рудного сырья в хранилища, химического анализа и др.

Однако данная информация может быть непригодна для использования из-за ряда причин:

- значительного запаздывания по времени;
- низкой точности, обусловленной погрешностями, возникшими в результате косвенных расчетов;
- случайного характера процессов рудообогатительной фабрики (значительные колебания физико-механических и химических характеристик рудного сырья).

Еще одним недостатком управления и контроля технологического процесса на рудообогатительных фабриках является то, что принятие решений об изменении или перенастройке текущих характеристик основных технологических объектов принимается технологами, т.е. на качество данного решения в значительной степени влияет человеческий фактор, что также не является гарантией оптимального управления технологическим процессом обогащения.

Очевидно, что в вышеперечисленных моментах при неконтролируемом изменении физико-механических или химико-минералогических показателей рудного сырья возможны значительные потери по качеству продукции, выходу и, следовательно, убытки для горнообогатительного предприятия.

Поэтому актуальным заданием является поиск новых методов и способов контроля и управления технологическим процессом обогащения. Одним из возможных вариантов решения поставленной задачи является управление технологическим процессом обогащения руды на основе Fuzzy-системы.

2. Структура предлагаемой системы управления технологическим процессом обогащения руды

Ниже представлена структурная схема, предлагаемая для реализации технологии поддержки принятия решений для стадии обогащения магнетитовых кварцитов с использованием нечеткой логики (рис. 1).

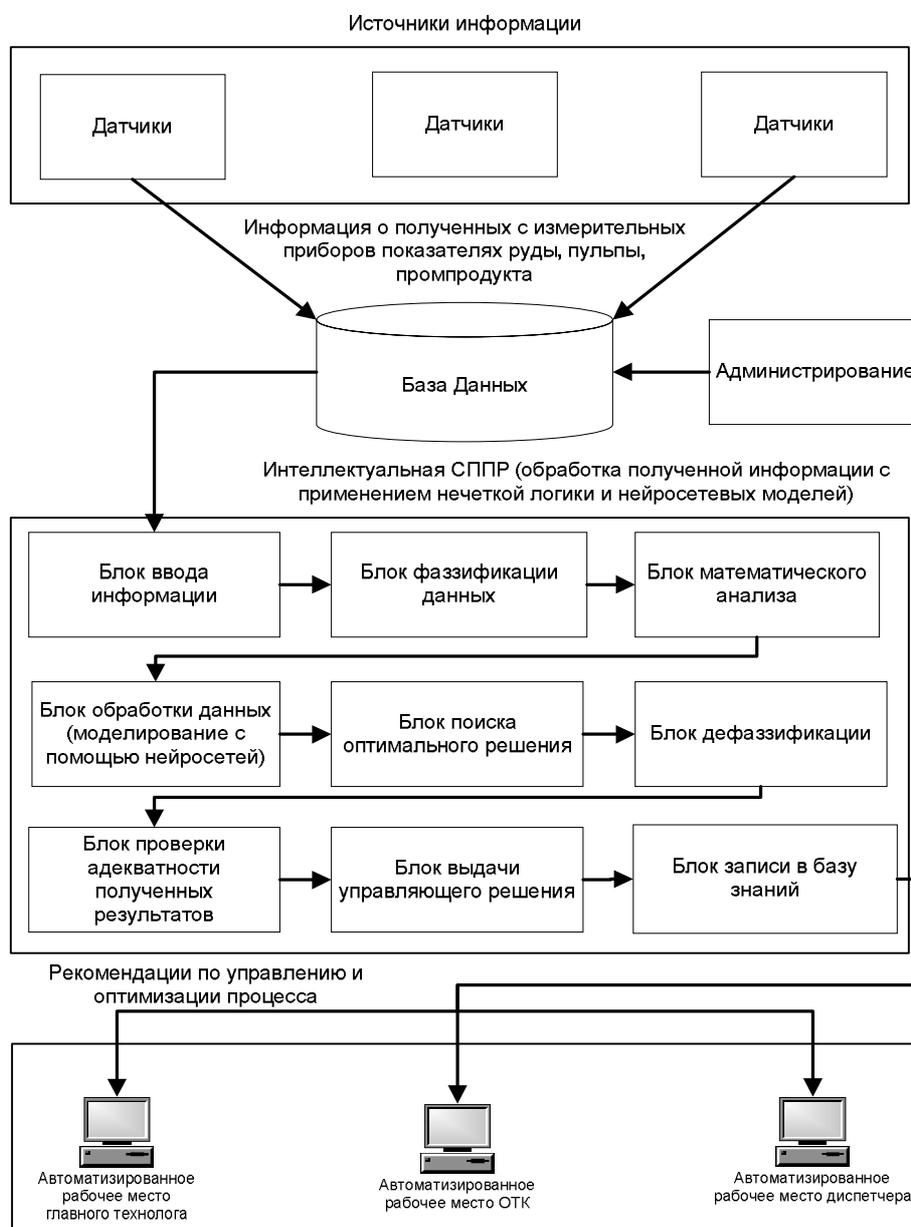


Рис. 1. Структурная схема системы поддержки принятия решений для стадии обогащения

Ее основными компонентами являются:

- датчики для сбора информации о руде – весе поступающего в мельницу рудного сырья, содержания железа общего и магнитного в рудопотоке, расход воды в технологические объекты (мельницу, спиральный классификатор, магнитный сепаратор), плотность пульпы на сливе классификатора;
- база данных, хранящая статистические данные о физико-химических, механических свойствах руды, а также параметры основных технологических объектов первой стадии обогащения;
- программная часть системы поддержки принятия решений, состоящая из модулей, позволяющих обрабатывать входную информацию с использованием правил нечеткой логики, выполнять анализ (с использованием нейронных сетей) на основе полученных наиболее значимых зависимостей и описанных математических моделей, производить поиск оптимального решения на основе установленных критериев управления технологическим процессом обогащения, и, как результат, рекомендовать решение на основе обработанных данных;

- автоматизированные рабочие места технического персонала (главного технолога, отдела технического контроля, диспетчера), непосредственно взаимодействующего с системой поддержки принятия решений.

3. Структура информационных потоков первой стадии обогащения руды

На выход и качество концентрата влияет большое количество факторов – физико-механические и химические параметры руды на входе (содержание железа общего и магнитного в исходной руде, класс крупности при подаче руды в классификатор, абразивность руды, объемный и удельный вес рудопотока).

Поэтому целесообразным является учет данных параметров в математической модели управления рудообогатительной фабрикой и их прогнозирование.

Информационные потоки на первой стадии обогащения магнетитовых кварцитов можно представить в виде функциональной схемы (рис. 2) [2]:

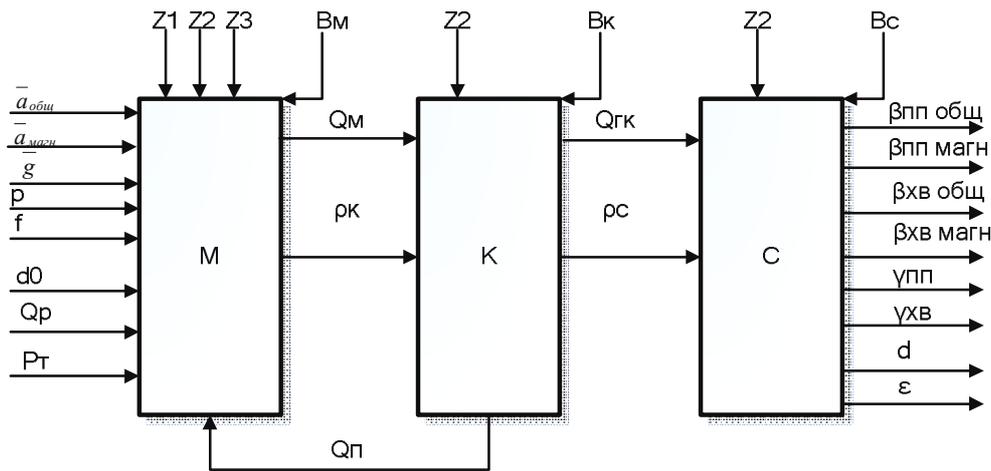


Рис. 2. Схема информационных потоков первой стадии технологического процесса обогащения железной руды

На рис. 2 обозначены:

- $\bar{a}_{общ}$, $\bar{a}_{магн}$ – содержание полезного компонента в исходной руде (по классам) общее и магнитное, $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$, %;
- p – плотность руды, г/см³;
- f – крепость руды, МПа;
- \bar{g} – соотношение разновидностей руды, %;
- d_0 – усредненная крупность руды на входе, мм;
- Q_p – входная производительность по руде, т/час;
- P_t – содержание твердого в мельнице, %;
- B_m, B_k, B_c – вода в мельницу, классификатор, сепаратор, т/час;
- Z_1 – износ футеровки, %;
- Z_2 – расход электроэнергии, кВт/час;

- Z_3 – износ шаров мельницы, %;
- $Q_m, Q_{кк}, Q_p$ – производительность мельницы, готового класса, песков, т/час;
- $\beta_{пп общ}, \beta_{пп магн}$ – содержание полезного компонента (общее и магнитное) в промпродукте на выходе, %;
- $\beta_{хв общ}, \beta_{хв магн}$ – потери полезного компонента (общего и магнитного) в хвостах, %;
- $\gamma_{пп}$ – выход промпродукта, %;
- $\gamma_{хв}$ – выход хвостов, %;
- ρ_k, ρ_c – плотность пульпы в классификаторе и сепараторе, %;
- d – усредненная крупность руды на выходе, мм;
- ϵ – извлечение полезного компонента в продукте, %.

Для представления входных, выходных и промежуточных параметров процесса обогащения в данном случае следует использовать модель «черного ящика», описывающего входные и выходные параметры системы, а также возмущающие воздействия, но не описывающего детально способы их взаимодействия. Их можно сгруппировать во множество векторов входных возмущающих, входных управляющих, выходных воздействий системы:

$$S = \begin{cases} \bar{X} = \left\{ \alpha_{\text{общ}}, \alpha_{\text{магн}}, \bar{g}, \rho, f, d_0 \right\}, \\ \bar{Y} = \left\{ Q_p, P_T, Q_M, \rho_K, Q_{II}, \rho_C, V_M, V_K, V_C \right\}, \\ \bar{Z} = \left\{ \beta_{\text{пп общ}}, \beta_{\text{пп магн}}, \beta_{\text{хв общ}}, \beta_{\text{хв магн}}, \gamma_{\text{пп}}, \gamma_{\text{хв}}, d, \varepsilon \right\}, \end{cases} \quad (1)$$

где \bar{X} - вектор входных возмущающих параметров; \bar{Y} - вектор управляющих воздействий; \bar{Z} - векторы выходных параметров системы.

Так как большинство входных возмущающих воздействий из системы (рис. 2) являются информацией неуправляемого характера, и на данный момент не существует надежных приборов, удовлетворяющих по точности и оперативности контроля, в дальнейшем при оперировании данными величинами целесообразно использование нечеткой логики (fuzzy logic).

В случае нечеткого представления информации входных возмущающих параметров получаем на выходе соответствующий вектор:

$$S = \begin{cases} \hat{X} = \left\{ \mu_{\alpha_{\text{общ}}}, \mu_{\alpha_{\text{магн}}}, \mu_{\bar{g}}, \mu_{\rho}, \mu_f, \mu_{d_0} \right\}, \\ \bar{Y} = \left\{ Q_p, P_T, Q_M, \rho_K, Q_{II}, \rho_C, V_M, V_K, V_C \right\}, \\ \bar{Z} = \left\{ \beta_{\text{пп общ}}, \beta_{\text{пп магн}}, \beta_{\text{хв общ}}, \beta_{\text{хв магн}}, \gamma_{\text{пп}}, \gamma_{\text{хв}}, d, \varepsilon \right\}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\hat{X} = \left\{ \mu_{\alpha_{\text{общ}}}, \mu_{\alpha_{\text{магн}}}, \mu_{\bar{g}}, \mu_{\rho}, \mu_f, \mu_{d_0} \right\}$ - нечеткие множества с соответствующими значениями функции принадлежности для каждого элемента из определенных возмущающих воздействий.

4. Математический аппарат

На основании данных о научно-исследовательской работе, проводимой ранее отечественными научными сотрудниками по изучению физико-химических и механических свойств магнетитовых кварцитов, необходимые множества лингвистических переменных и соответствующих термов для

параметров, входящих в выражение (2), определяются следующим образом:

- по содержанию железа общего и магнитного $T_{\bar{\alpha}_{\text{общ}}}, T_{\bar{\alpha}_{\text{магн}}}$: «бедные руды»; «нормальные руды»; «богатые руды»;
- по соотношениям разновидностей руды (по обогатимости или раскрытию рудных зерен) определяется $T_{\bar{g}}$: «труднообогатимые руды»; «средние»; «легкообогатимые руды»;
- по плотности руды $T_{\bar{\rho}}$: «трудноизмельчимо»; «нормальные»; «легкоизмельчимо»;
- по крепости рудного сырья $T_{\bar{f}}$: «крепкие породы»; «средние породы»; «мягкие породы»;
- по содержанию заданного класса в рудопотоке после дробления $T_{\bar{d}_0}$: «содержание незначительное»; «содержание среднее»; «содержание высокое».

При необходимости множество значений лингвистических переменных может быть дополнено промежуточными понятиями, однако необходимо учитывать, что с увеличением количества значений возрастает сложность системы, что сказывается на скорости и качестве ее функционирования. Поэтому при проектировании систем необходимо выделить основные критерии для их выбора.

Математическая модель, описывающая работу технологического процесса обогащения, должна основываться на зависимостях, описывающих взаимосвязи физико-механических и химико-минералогических свойств руды, параметров технологических объектов, отражая принципы их влияния на качественные и количественные характеристики получаемого продукта.

Допустим, что система поддержки принятия решений для стадии обогащения настроена на оптимальные параметры, когда все нечеткие лингвистические переменные имеют среднее значение:

$$T_{\bar{\alpha}_{\text{общ}}}, T_{\bar{\alpha}_{\text{магн}}} = \text{«нормальные руды»};$$

$$T_{\bar{g}} = \text{«средние»};$$

$$T_{\bar{\rho}} = \text{«нормальные»};$$

$$T_{\bar{f}} = \text{«средние породы»};$$

$$T_{\bar{d}_0} = \text{«содержание среднее»}.$$

При изменении показателей, например, $T_{\bar{\alpha}_{\text{магн}}} = \text{«бедные руды»}$ и $T_{\bar{g}} = \text{«труднообогатимые руды»}$ возможными решениями будут увеличение подачи руды или снижение подачи воды в мельницу. В том случае, когда подача воды в агрегат имеет минимальное значение, оптимальным вариантом будет увеличение скорости конвейерной ленты. При максимальной загрузке мельницы, во избежа-

ние ее перегрузки и поломки, наилучшим решением будет снизить подачу воды в мельницу.

Для окончательного формирования множества T необходимо сформировать функции принадлежности, определенные на множестве нечетких переменных U . Функция принадлежности $\mu_{\tilde{X}}(U) \in [0,1]$ ставит в соответствие каждому значению $u \in U$ число из интервала $[0, 1]$, характеризующее степени его принадлежности диапазону множества U , соответствующему нечеткой переменной. Конкретный вид функции принадлежности определяется на основе дополнительных предположений о свойствах этих функций с учетом специфики имеющейся неопределенности, реальной ситуации на объекте и числа степеней свободы в функциональной зависимости.

Выводы

Использование предлагаемого подхода управления технологическим процессом обогащения на основе Fuzzy-систем позволит косвенно получать значения основных параметров рудопотока, которые невозможно измерить прямыми методами, на основе зависимостей с минимальными потерями времени,

что предоставляет более широкие возможности по регулированию и контролю производственного процесса.

В результате, благодаря гарантированному управлению технологическим процессом появится возможность минимизации потерь полезного компонента за счет постоянного контроля и оптимальной перенастройки технологических объектов с изменением свойств руды, а также получения продукта обогащения с заданным показателем качества, что позволит сделать его более конкурентоспособным на мировом рынке.

Литература

1. Марюта, А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогажительных фабриках [Текст] / А.Н. Марюта – М.: Недра, 1975. – 231 с.

2. Азарян, А.В. Fuzzy-модель информационных потоков в условиях технологического процесса обогащения первой стадии магнетитовых кварцитов [Текст] / А.В. Азарян // Международный форум-конкурс «Проблемы недропользования», 20-22 апреля 2011 г.: докл. – СПб.: СПбГУ им Г.В.Плеханова, 2011. – 278 с.

Поступила в редакцию 7.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой А.И. Купин, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», Кривой Рог, Украина.

ГАРАНТОВАНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЗБАГАЧЕННЯ РУДИ НА ОСНОВІ FUZZY-СИСТЕМИ

А.В. Азарян

Проведено аналіз керування технологічним процесом збагачення руд, виявлено основні недоліки. Представлена та проаналізована схема інформаційних потоків першої стадії збагачення руд. Розглядається керування стадією технологічного процесу на основі FUZZY-системи. Запропоновано підхід управління технологічним процесом збагачення на основі Fuzzy-систем, що дозволяє опосередковано отримувати значення основних параметрів рудопотоку, які неможливо виміряти прямими методами, що надає більш широкі можливості по регулюванню і контролю виробничого процесу.

Ключові слова: нечітка логіка, керування технологічним процесом збагачення, залізна руда.

GUARANTEED PROCESS CONTROL OF ORE CONCENTRATION BASED ON FUZZY-SYSTEM

A.V. Azaryan

The analysis of the process control of ore was conducted, the main shortcomings were identified. The informational scheme of the first stage of ore dressing was presented and analyzed. The control of the stage of technological process based on FUZZY-system is considered. The approach of management by technological process of enrichment based on Fuzzy-systems is offered, which allows indirectly to receive values of key parameters of a ore stream which it is impossible to measure by direct methods that provides more opportunities on regulation and production control.

Keywords: fuzzy logic, control of process concentration, iron ore.

Азарян Анастасія Владимировна – аспірант кафедри комп'ютерних систем і мереж Криворожського Національного університету, Кривий Ріг, Україна.