

УДК 004.896: 021

А.В. АЗАРЯН, аспирантка, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРВОЙ СТАДИЕЙ ОБОГАЩЕНИЯ МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ

Рассмотрены вопросы применения алгоритма принятия решений для управления процессами обогащения магнетитовых кварцитов с использованием элементов нечеткой логики на примере предложенной СППР.

Актуальность проблемы и ее связь с научными и практическими задачами. На сегодняшний день информационные технологии находят свое применение 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. Применение принципов нечеткой логики позволяет решить те задачи, которые невозможно реализовать с использованием четких фиксированных алгоритмов и данных.

Рудобогащительная фабрика является сложным для управления объектом с достаточно интенсивными потоками данных. Наличие рециклов значительно усложняет процесс контроля физико-механических 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. Очевидно, что в таком случае при изменении физико-механических или химико-минералогических показателей рудного сырья ожидаются значительные потери по качеству продукции, и, следовательно, убытки для горнообогатительного предприятия. Следовательно, актуальным заданием является разработка обобщенного алгоритма принятия решений для управления первой стадией обогащения магнетитовых кварцитов [1].

Анализ исследований и публикаций. На сегодня известно множество интеллектуальных систем принятия решений, применяемых, в частности, в горной промышленности как Украины, так и за рубежом. Наиболее известными из них являются: экспертные системы PROSPECTOR, MUD, LITHO, ELAS, DRILLING ADVISOR, DIPMETER ADVISOR [2]; геоинформационная система K-MINE [3]; комплексная система контроля и управления технологическими процессами ГОКа («Saturn® Data International», Украина) [4]. Однако ни одна из перечисленных систем не решает в полной мере задачи по повышению и стабилизации качества продукции в процессе обогащения магнетитовых кварцитов, контролю и управлению основными технологическими параметрами рудопотока и объектов на 1й стадии.

Постановка задачи. На данный момент на рудобогащительных 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, абразивностью и др.

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 рудобогащительной фабрики (значительные колебания физико-механических и химических характеристик рудного сырья).

Для решения данной задачи может быть предложен подход, включающий в себя использование принципов нечеткой логики и нейросетевых структур. В данной статье будут изложены потенциально возможные научные подходы по построению обобщенного алгоритма принятия решений для управления первой стадией обогащения магнетитовых кварцитов.

Изложение основных материалов статьи и результаты. 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.

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

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 заранее полученных наиболее значимых зависимостей и описанных математических моделей, производить поиск оптимального решения на основе заранее установленных критериев управления технологическим процессом обогащения магнетитовых кварцитов, 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.

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 заранее полученных наиболее значимых зависимостей и описанных математических моделей, производить поиск оптимального решения на основе заранее установленных критериев управления технологическим процессом обогащения магнетитовых кварцитов, 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.

Информационные потоки на первой стадии обогащения магнетитовых кварцитов можно представить в виде функциональной схемы (рис. 2) [5], где $\bar{a}_{общ}$, $\bar{a}_{магн}$ - 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_o - 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 - электроэнергия, кВт/час; Z_3 - износ шаров мельницы, %; Q_m , $Q_{гк}$, Q_n - производительность мельницы, готового класса, песков, т/час; $\beta_{пш.общ}$, $\beta_{пш.магн}$ - содержание полезного компонента (общее и магнитное) в промпродукте на выходе, %; $\beta_{хв.общ}$, $\beta_{хв.магн}$ - потери полезного компонента (общего и магнитного) в хвостах, %; $\gamma_{пш}$ - 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, %.

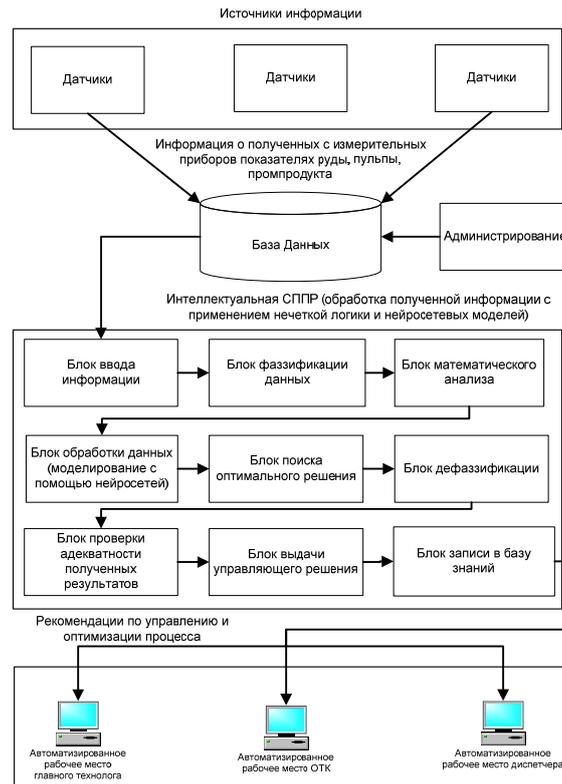


Рис. 1. Структурная схема системы поддержки принятия решений для стадии обогащения магнетитовых кварцитов с оперативным контролем качества сырья

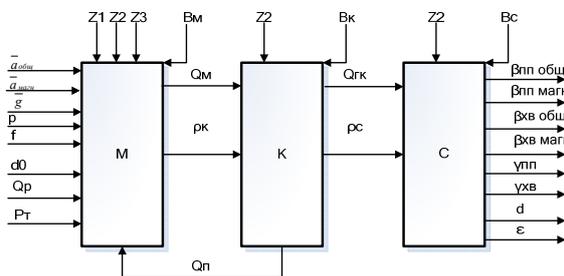


Рис. 2. Функциональная схема первой стадии технологического процесса обогащения железной руды

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:

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

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

$$S = \begin{cases} \hat{X} = \{ \mu_{\alpha_{общ}}, \mu_{\alpha_{магн}}, \mu_{\bar{g}}, \mu_{\rho}, \mu_f, \mu_{d_0} \} \\ \bar{Y} = \{ Q_p, P_T, Q_M, \rho_K, Q_{II}, \rho_C, B_M, B_K, B_C \} \\ \bar{Z} = \{ \beta_{np общ}, \beta_{np магн}, \beta_{xv общ}, \beta_{xv магн}, \gamma_{np}, \gamma_{xv}, d, \epsilon \} \end{cases}, \quad (1)$$

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

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 $T_{\bar{g}}$: {«труднообогащаемые руды»; «средние»; «легкообогащаемые руды»};

по плотности руды $T_{\bar{\rho}}$: {«трудноизмельчимые»; «нормальные»; «легкоизмельчимые»};

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»}.

Далее рассмотрим пример построения алгоритма для автоматизированного принятия решений технологами с использованием СППР (см. рис. 1).

Допустим, что система поддержки принятия решений для стадии обогащения настроена на оптимальные параметры, когда все нечеткие лингвистические переменные имеют среднее значение: $T_{\bar{\alpha}_{\text{общ}}}$, $T_{\bar{\alpha}_{\text{магн}}}$ = «нормальные руды»; $T_{\bar{g}}$ = «средние»; $T_{\bar{\rho}}$ = «нормальные»; $T_{\bar{f}}$ = «средние породы»; $T_{\bar{d}_0}$ = «содержание среднее». При изменении показателей, например, $T_{\bar{\alpha}_{\text{магн}}}$ = «бедные руды» и $T_{\bar{g}}$ = «труднообогащаемые 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 избежание 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 $\mu_{\bar{x}}(U) \in [0,1]$ 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.

Например, функция принадлежности гауссова типа описывается формулой (2) и оперирует двумя параметрами: параметр c обозначает центр нечеткого множества, а параметр σ отвечает за крутизну функции

$$MF(X) = \exp\left[-(x - c/\sigma)^2\right] \quad (2)$$

К примеру, область рассуждений лингвистической переменной $T_{\bar{f}}$ для каждой разновидности руды будет иметь свой диапазон значений. Зависимость значений функции принадлежности от крепости рудного сырья для различных типов руды представлена ниже на рис. 3:



Рис. 3. График зависимости функции принадлежности μ_f от крепости f гауссова типа для различных типов руды

В данном случае, в зависимости от типа разновидности руды следует производить фазсификацию и дефазсификацию для соответствующей кривой функции принадлежности. На практике удобно использовать те функции принадлежности, которые допускают аналитическое представление в виде некоторой простой математической функции. Это упрощает не только соответствующие численные расчеты, но и сокращает вычислительные ресурсы, необходимые для хранения отдельных значений этих функций принадлежности.

Выводы. Предлагаемый алгоритм принятия решений на основе информационной технологии позволит оптимизировать потери полезного компонента в хвостах, стабилизировать содержание железа, извлечение и выход промпродукта, снизить расход электроэнергии на первой стадии обогащения за счет внедрения математического аппарата обработки информации и автоматизированного поиска оптимального решения при изменении физико-химических или механических характеристик сырья. Преимуществом данного подхода перед существующими

системами с экспертной оценкой является скорость определения оптимального решения благодаря использованию нечетких математических моделей.

Список литературы

1. **Марюта А.Н.** Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках / **А.Н. Марюта.** – М.: Недра, 1975. – 231 с.
2. **Купин А.И.** Обзор существующих систем принятия решений и экспертных систем в области горного дела / **А.И. Купин, А.В. Азарян** // Качество минерального сырья / Сб. научн. тр. – Кривой Рог, 2011. – 455 с.
3. Программное обеспечение для горняков, геологов, маркшейдеров: геоинформационная система K-MINE [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://kai.com.ua/razrobotki/gis-k-mine>
4. Решения для горно-обогатительного комплекса - Горно-обогатительная промышленность: Решения: SaturnData [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://saturn-data.com/rus/solutions/1/>
5. **Азарян А.В.** Fuzzy-модель информационных потоков в условиях технологического процесса обогащения первой стадии магнетитовых кварцитов Международный форум-конкурс «Проблемы недропользования», 20-22 апреля 2011 г.: докл.- Санкт-Петербург: СПбГУ им Г.В.Плеханова, 2011. – 278 с.
Рукопись поступила в редакцию 01.09.11

УДК 621.18

Ю.П. КВЯТКОВСКАЯ, канд. техн. наук, доц., А.А. РИДЕР, аспирант
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИНЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ УКРАИНЫ

Рассмотрены способы повышения эффективности энергетических установок, использующих органическое топливо с помощью газотурбинных и парогазовых технологий, а также возможность наиболее простого способа модернизации тепловых электростанций, что позволит значительно снизить удельный расход топлива и стоимость вырабатываемой электрической и тепловой энергии.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время в Украине сложилась такая ситуация, что составляющая электрической и тепловой энергии в стоимости продукции, выпускаемой фабриками и заводами, велика. И эта ситуация осложняется высокой стоимостью топлива - природного газа и несовершенными технологиями в энергетике.

Наблюдаемая тенденция отдельного производства электрической и тепловой энергии вызвало излишне высокую централизацию теплоснабжения с разветвленной сетью теплопроводов и, как следствие, со значительными транспортными потерями теплоты и затратами, связанными с эксплуатацией теплопроводных сетей.

Строительство значительного количества тепловых пунктов, снабжающих теплом небольших потребителей, и неоправданная замена ТЭЦ на котельные [1,3] показывает, что решение проблемы состоит во внедрении более совершенной и разумной децентрализации теплоснабжения при совместном производстве электрической и тепловой энергии.

Исследования, проводимые в Украине и в других странах [1-4] показывают, что с наименьшими затратами задача децентрализации теплоснабжения решается с помощью газотурбинных и парогазовых технологий.

Газотурбинные и парогазовые технологии позволят обеспечить высокоэкономичное и надежное электроснабжение страны при ускоренном вводе новых энергетических мощностей как при новом строительстве, так и при техническом перевооружении существующих электростанций и в первую очередь при замене морально и физически изношенного оборудования.

Анализ исследований и публикаций. Газотурбинные установки можно с большим эффектом использовать для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии.

Современные теплогенераторы представляют собой малоэффективные и металлоемкие сооружения. Повысить эффективность существующих котельных можно путем надстройки газотурбинными установками (ГТУ). Теплота выхлопных продуктов сгорания ГТУ утилизируется в существующих котлах. При этом снижается суммарный расход топлива по сравнению со схемой отдельного использования ГТУ для выработки электрической энергии и котлов для выработки теплоты. При совместной работе котлов и ГТУ наиболее экономичной является схема, при которой сжигание топлива в котле осуществляется в потоке выхлопных газов ГТУ, являющихся окислителем, так как при этом не присоединяется дополнительный балласт в виде азота