

2. **Монастырский В.Ф., Максютенко В.Ю., Плехотник В.И., Бесчастный В.И.** Экспериментальные исследования грузопотока крупнокускового груза // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1999. – Вып. 11. – С. 7-14.
3. **Коваль А.В.** Исследование динамических нагрузок на выбор конструктивных параметров роликкоопор шахтных ленточных конвейеров: Дисс. канд. техн. наук. – М., 1995.
4. **Козлов Е.М.** Определение нагрузок на основные элементы тяжелых ленточных конвейеров ГОКов // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 2000. – С. 24-27.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.12

УДК 621.926: 34.16

С.Л. ЦВИРКУН, ст. преподаватель, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУПНОКУСКОВОЙ РУДЫ

Рассмотрена система автоматического определения кусков руды в потоке с использованием контролера на основе нечеткой логики. Приведена модель системы определения кусков руды с помощью нечеткого управления с использованием ANFIS технологии.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, нечеткая логика, нечеткая база знаний, сортировка, функций принадлежности.

Проблема и ее связь с практическими задачами. На сегодняшний день довольно трудно представить функционирование какого-либо технологического объекта без автоматизированной системы управления, в том числе и процессы магнитной сепарации кусковой руды. В условиях рыночной конкурентной борьбы предприятия вынуждены не только обеспечивать безопасность и устойчивость ведения технологических процессов, но и постоянно повышать их экономическую эффективность.

Безусловно, самым очевидным методом повышения эффективности технологических процессов является совершенствование технологических схем, аппаратного оформления технологии и режимов технологических процессов. Однако в рамках такого подхода можно извлечь лишь часть резервов экономии. Наиболее значительный эффект может быть получен за счет совершенствования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) с включением в структуру системы интеллектуальной составляющей математического аппарата, работающего на основании алгоритмов нечеткой логики, нейронных сетей и др. Для получения блок-схемы алгоритма управления процессом магнитной сепарации кусковой руды необходимо провести анализ технологического процесса, определить место математического аппарата в структуре АСУТП и установить ограничения, накладываемые на основные параметры процесса.

Анализ исследований и публикаций. Цель управления процессом магнитной сепарации кусковой руды - получение железной руды стабильного качества, поступающей на дальнейший обогатительный передел, что влияет на снижение себестоимости и повышение технико-экономических показателей обогащения магнетитовой руды: снижение стоимости обогащения сырья, по сравнению с традиционным способом, поскольку при той же технологии обогащения руды, уменьшается количество хвостов и увеличивается количество концентрата, а также качество, сортность и потребительские свойства; повышение эффективности последующего металлургического передела со снижением расхода кокса на каждую тонну концентрата и сокращение потерь металла в шлаках на 20 %, за счет снижения потерь полезного компонента, увеличения производительности и повышения качества концентрата при обогащении сырья. Происходит снижение общих эксплуатационных расходов за счет экономии электроэнергии на гидротранспорт и укладку мокрых хвостов, а также уменьшение удельного расхода электроэнергии, шаров и футеровки при измельчении руды.

Анализ данных оперативного контроля процесса обогащения показал [1], что содержание полезного компонента в концентрате колеблется в широких пределах. В связи с этим возникла необходимость стабилизации содержания полезного компонента в железной руде. Стабилизация качества руды, поступающей на обогащение (стабилизация содержания полезного компонента в железной руде в заданных пределах) возможна путем изъятия богатой крупнокусковой руды до поступления на 1-ю стадию обогащения за счет внедрения автоматизированной систе-

мы управления, включающей в контур управления моделью количественной оценки содержания руды в потоке, которая позволит до минимума сократить влияние «человеческого фактора».

Цель исследования. Разработана система автоматического определения кусков руды в потоке с применением алгоритмов нечеткой логики, реализованная с помощью ЭВМ управления, аналогично тому, которое выполняет квалифицированный оператор, путем представления в виде модели методов его работы с использованием правил управления. Нечеткие системы основаны на правилах продукционного типа. Обычно продукционное правило записывается в виде: «ЕСЛИ (посылка) (связка) (посылка)...(посылка) ТО (заключение)». В качестве посылки и заключения в правиле используются лингвистические переменные, что позволяет избежать ограничений, присущих продукционным правилам классической логики. Таким образом, формируется нечеткое соответствие между пространством предпосылок и пространством заключений.

Изложение материала и результаты. Методы настройки систем нечеткого вывода за последнее десятилетие получили существенное развитие. Разработан аппарат, так называемых, нечетких нейронных сетей (Fuzzy Neural Net), называемых так же ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Нечеткие нейронные сети представляют собой гибрид между нечеткими системами и нейронными сетями. При адаптивном подходе к построению нечетких систем управления настройка блоков нечеткого логического вывода осуществляется не только в процессе проектирования, но и во время нормальной эксплуатации системы, параллельно с процессом управления объектом. Адаптивные системы позволяют осуществлять более качественное управление сложными не стационарными объектами по сравнению с обычными системами.

Рассмотрим систему автоматического определения кусков руды в потоке с использованием контролера на основе нечеткой логики. В качестве данных для экспериментального сравнения были отобраны десять кусков руды, полученных после обработки изображения, а в качестве описывающих их признаков были отобраны четыре достаточно информативных характеристик. Эти данные представлены в виде нормированных данных в табл. 1.

Таблица 1

Таблица нормированных данных

Номер объекта	Крупность, мм ²	Содержание железа, %	Масса, кг	Цвет
1	0,83	1	0,87	0,6
2	0,5	0,88	0,65	0,6
3	0,58	0,85	0,78	0,1
4	1	0,96	1	0,3
5	0,33	0,78	0,57	0,3
6	0,42	0,85	0,7	0,6
7	0,17	0,79	0,43	0,3
8	0,5	0,93	0,65	0,6
9	0,75	0,94	0,91	0,6
10	0,67	0,96	0,78	0,6

Трудности в моделировании процесса магнитной сортировки при предварительном обогащении руды происходят из-за недостаточности знания взаимодействия разделительных признаков руды. Чтобы справиться с такой неопределённостью, можно использовать имитационное моделирование сложных систем.

Для моделирования системы автоматического определения кусков руды с помощью нечеткого управления использовались возможности среды технологических расчётов – MATLAB [3], а также сопутствующей системы для моделирования динамических нелинейных систем – Simulink, системы разработки нечетких систем управления Fuzzy Logic Toolbox. Пакет Fuzzy Logic Toolbox, входящий в состав системы MATLAB, содержит набор GUI модулей, обеспечивающих проведение этапа структурной идентификации в диалоговом режиме. На этом этапе определяется количество входов и выходов модели, задаются количество термов и типы функций принадлежности, формируется база знаний. Пакет Fuzzy Logic Toolbox для моделей типа Сугэно обеспечивает автоматизацию этапа параметрической идентификации. Настройку нечеткой модели типа Сугэно удобно проводить в диалоговом режиме с использованием GUI модуля anfisedit. Настройка выполняется с использованием технологии ANFIS (Adaptive Network based Fuzzy Inference System) и представляет собой итерационную процедуру нахождения параметров функций принадлежности, которые минимизируют расхождения между действительным и же-

лаемым поведением модели.

База знаний формировалась непосредственно из результатов измерений крупности куска руды, содержания железа в куске, веса куска и цвета в соответствии с (табл. 1). С учетом зависимостей приведенных в табл. 2 в качестве последней величины использовалось значение куска руды, который относится доменной руде. Применялся алгоритм решеточного разбиения по три термина для оценки каждой входной переменной с гауссовой функцией принадлежности

$$A_{i,j} = \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z_j - v_{i,j})^2}{\sigma_{i,j}^2}\right), \quad (1)$$

где $v_{i,j}$ представляет среднее значение, $\sigma_{i,j}^2$ дисперсию функции Гаусса, параметр α определяет точку максимума функции принадлежности, σ описывает степень нечеткости числа, значения $\alpha \pm \sigma$ являются точками перегиба графика функции принадлежности.

Структура модели системы автоматического определения кусков руды в потоке с использованием контролера на основе нечеткой логики представлена на рис. 1.

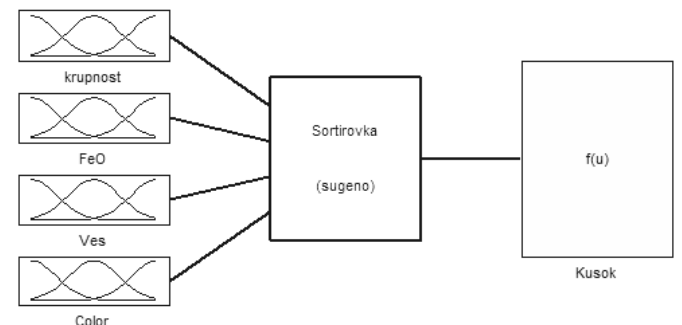


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического определения кусков руды в потоке

Реализация логической операции И (andMethod) осуществлялась методом произведения (prod), логической операции ИЛИ (orMethod) - методом вероятностного ИЛИ (probor). Реализация импликации (impMethod) выполнено методом минимума (min), а операции объединения функций принадлежности выходной переменной (aggMethod) -

методом максимума (max). В качестве метода дефаззификации в системах типа Сугено применяется метод «средневзвешенное» (wtaver). Применение данного метода позволяет участвовать в принятии окончательного решения нескольким правилам, и сократить количество правил относительно системы типа Сугено.

Нечеткая модель оптимизирована по обучающей выборке из 10 числовых массивов “входы-выход”.

Графики функций принадлежности входных переменных показаны на рис. 2.

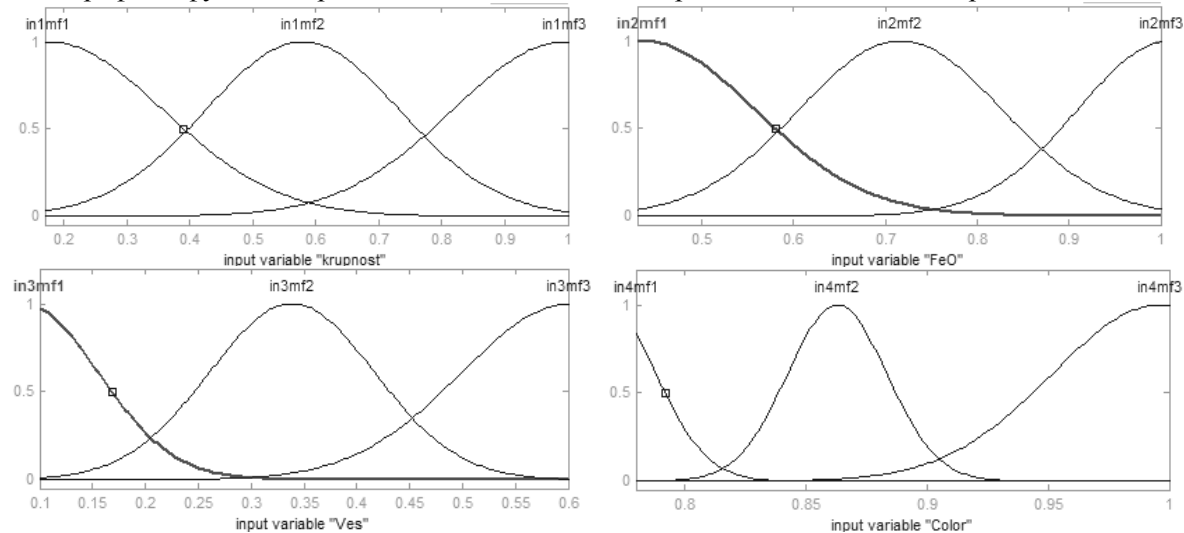


Рис. 2. Оптимальные функции принадлежности входных переменных

В диалоговом режиме с использованием GUI модуля anfisedit произведем настройку нечеткой модели типа Сугэно.

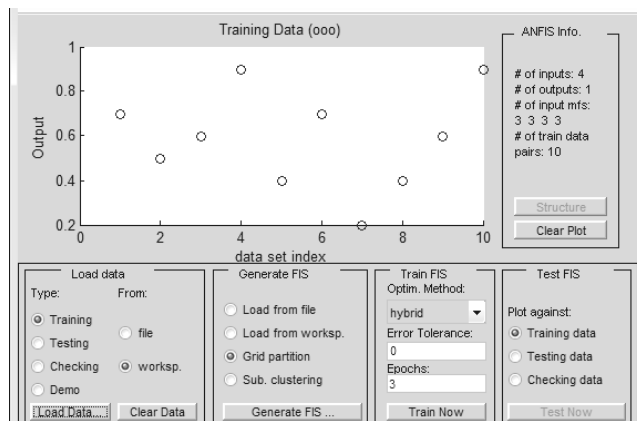


Рис. 3. Окно GUI модуля anfisedit после загрузки учебной выборки

Далее проведем обучение модели с помощью опции Train FIS. Оптимальные методы оставим без изменения, за исключением количество циклов обучения, увеличим до 10. После обучения (Train Now) получим результат в виде графика ошибки сети (рис. 4), из которого видно, что процесс обучения заканчивается на 8 цикле с ошибкой равной $E=2,5 \cdot 10^{-6}$

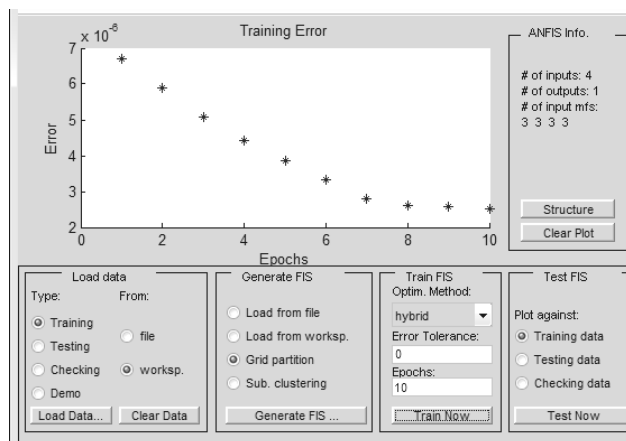


Рис. 4. Результат обучения ANFIS модели

Построим модель системы автоматического определения искомых кусков руды в потоке с использованием контролера на основе нечеткой логики (Fuzzy Logic Controller) с помощью Simulink (рис. 5).

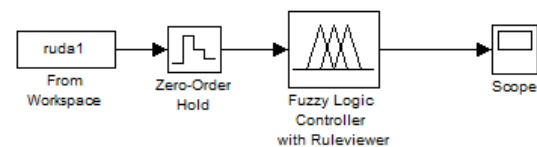


Рис. 5. Модель системы автоматического определения искомых кусков руды

Результаты работы гибридной ANFIS модели по алгоритму Сугено (рис.6). Из графика видно, что из 10 кусков руду для отбора подходят 1,4,9 и 10 кусок которые находятся в зоне расположения устройства для определения крупнокусковой руды.

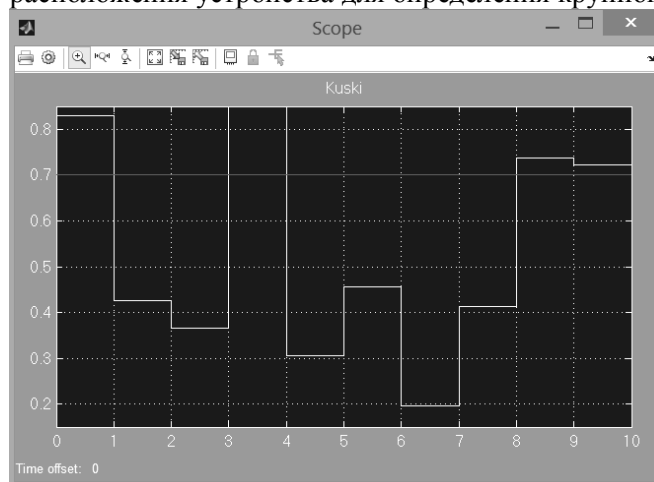


Рис. 6. Результаты работы гибридной ANFIS модели

Выводы. Можно сделать следующий вывод: ключ к успешному внедрению нечеткой логики в промышленную автоматизацию - в умелом сочетании её с традиционными средствами. Нечеткая логика не заменяет обычной техники управления, а дополняет её высокоэффективной методологией реализации стратегий многосвязного управления. Таким образом, основной потенциал нечеткой логики лежит в сфере реализации функций диспетчерского управления, поскольку, поскольку с ее помощью практически полностью автоматизирует процесс получения нечеткой (гибридной) системы, возможность просмотра сформированных правил и интерпретацию их для дальнейшего анализа данных.

Список литературы

1. Козин В. З. Исследование руд на обогатимость. - Урал. гос. горный ун-т. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. - 312 с.
2. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. - Режим доступа: http://www.library.vstu.edu.ru/ellib/matlab_ru/fuzzylogic/book1.
3. Гульятев А. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows / А. Гульятев. - М.: Корона принт, 1999. - 369 с.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.12