

Нечеткологическая модель многостадийной химико-энерготехнологической системы переработки мелкодисперсного рудного сырья

М. И. Дли^{1,2}, А. Ю. Пучков^{1}, Н. Н. Прокимов², Б. В. Окунев¹*

¹Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

²Университет «Синергия», Москва, Россия

*putchkov63@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования, целью которого являлось построение программной модели многостадийной комплексной системы переработки мелкодисперсного рудного сырья. В роли такого сырья могут выступать отходы переработки на горно-обогатительных комбинатах апатит-нефелиновых и других видов руд, в больших объемах скапливающиеся в хвостохранилищах. Они создают значительную экологическую угрозу на прилегающих к комбинатам территориях за счет выветривания, пылеобразования, проникновения в почву и водоносные горизонты опасных для здоровья человека химических соединений и веществ. Поэтому совершенствование существующих производственных процессов, разработка новых технологических систем для горно-обогатительных комбинатов, включая применение принципов экономики замкнутого цикла, вторичной переработки отходов, обосновывает актуальность выбранного направления исследований. В основе предложенной программной модели лежит применение обучаемых деревьев систем (блоков) нечеткого вывода первого и второго типов. Такой подход позволил избежать излишнего усложнения баз правил нечеткого вывода при использовании только одного нечеткого блока при построении многопараметрической модели всей многостадийной комплексной системы. Применение нескольких блоков нечеткого вывода, описывающих поведение отдельных агрегатов системы и их конфигурирование в соответствии с физической структурой системы, позволяет использовать относительно простые наборы правил отдельных блоков. Совместный подбор их параметров при обучении дерева нечетких блоков позволяет достигать высокой точности получаемых решений. Новизну результатов исследования составляет предложенная программная нечеткологическая модель комплексной системы переработки мелкодисперсного рудного сырья. Представлены результаты имитационного эксперимента, проведенного в среде MatLab с использованием сгенерированного в Simulink синтетического набора данных. Результаты показали, что обученная нечеткологическая модель обеспечивает хорошую точность воспроизведения параметров и переменных из тестовой части синтетического набора. Научная новизна предлагаемого алгоритма заключается в расширении перцептивного поля для каждой из сетей за счет взаимного преобразования изображений и временных последовательностей друг в друга. За счет этого каждая из сетей обучается на большем объеме данных и выявляет больше закономерностей. Это в конечном итоге приводит к повышению качества классификации, что подтверждается результатами апробирования предложенного алгоритма с использованием разработанного в среде MatLab программного приложения.

Ключевые слова: нечеткая логика, деревья систем нечеткого вывода, переработка рудных отходов

Для цитирования: Дли М.И., Пучков А.Ю., Прокимов Н.Н., Окунев Б.В. Нечеткологическая модель многостадийной химико-энерготехнологической системы переработки мелкодисперсного рудного сырья // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 3. С. 92–104. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-3-92-104

Fuzzy model of a multi-stage chemical-energy-technological processing system fine ore raw materials

M. Dli^{1,2}, A. Puchkov¹, N. Prokimnov², B. Okunev¹

¹Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

²Synergy University, Moscow, Russia

putchkov63@mail.ru

Abstract. The results of the study, the purpose of which was to build a software model of a multi-stage integrated system for processing finely dispersed ore raw materials, are presented. The role of such raw materials can be processed waste at mining and processing plants of apatite-nepheline and other types of ores, which accumulate in large volumes in tailing dumps. They create a significant environmental threat in the territories adjacent to the plants due to weathering, dust formation, penetration into the soil and aquifers of chemical compounds and substances hazardous to human health. Therefore, the improvement of existing production processes, the development of new technological systems for mining and processing plants, including the application of the principles of the circular economy, waste recycling, justifies the relevance of the chosen research area. The proposed program model is based on the use of trainable trees of systems (blocks) of fuzzy inference of the first and second types. This approach made it possible to avoid unnecessary complication of the bases of fuzzy inference rules when using only one fuzzy block when building a multi-parameter model of the entire multi-stage complex system. The use of several fuzzy inference blocks that describe the behavior of individual units of the system and their configuration in accordance with the physical structure of the system allows the use of relatively simple sets of rules for individual blocks. The joint selection of their parameters when training a tree of fuzzy blocks makes it possible to achieve high accuracy of the solutions obtained. The novelty of the research results is the proposed software fuzzy model of an integrated system for processing finely dispersed ore raw materials. The results of a simulation experiment conducted in the MatLab environment using a synthetic data set generated in Simulink are presented. The results showed that the trained fuzzy model provides good fidelity of the parameters and variables from the test part of the synthetic set.

Keywords: fuzzy logic, trees of fuzzy inference systems, processing of ore waste

For citation: Dli M., Puchkov A., Prokimnov N., Okunev B. Fuzzy model of a multi-stage chemical-energy-technological processing system fine ore raw materials. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2023, vol.18, no.3, pp.92-104 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-3-92-104

Введение

Высокие темпы накопления промышленных, бытовых и других видов отходов в развитых странах делают задачу переработки и утилизации задачей перво-степенной важности, без успешного решения которой в ближайшем будущем многие ре-

гионы Земли ждут серьезные экологические проблемы. Россия здесь не исключение: так, в 2019 году в стране образовался рекордный объем производственных отходов – 7,75 млрд тонн. По сравнению с 2002 годом, начиная с которого ведутся наблюдения за производимыми отходами, их объемы, по данным аналитической службы международной