

DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-1-55-68

Алгоритм прогнозирования параметров системы переработки отходов апатит-нефелиновых руд

А. Ю. Пучков^{1*}, Е. И. Лобанева², О. П. Култыгин³

¹ Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"», Москва, Россия

³ Университет «Синергия», Москва, Россия

*putchkov63@mail.ru

Аннотация. В рамках концепции циркулярной экономики исследования в области создания технологических систем вторичной переработки отходов горно-обогатительных комбинатов занимают одну из ключевых позиций. В этой связи актуальной является задача создания систем управления технологическими процессами переработки таких отходов и их информационного обеспечения. Новизна представляемых исследований заключается в предложенной структуре интеллектуальной системы управления сложной химико-энерготехнологической системой переработки апатит-нефелиновых руд, а также в алгоритме прогнозирования технологических параметров, который входит в состав информационного обеспечения рассматриваемой системы управления. В основе алгоритма лежит применение аппарата глубоких рекуррентных нейронных сетей и калмановской фильтрации, используемой на этапе препроцессинга данных для обучения нейронной сети. В работе описан предложенный алгоритм прогнозирования многомерных временных рядов, адаптированный к рассматриваемому технологическому процессу, представлено программное обеспечение, выполненное в среде MatLab для демонстрации работоспособности указанной комбинации методов обработки технологических параметров. В модельном эксперименте показано, что применение фильтрации позволяет повысить точность прогноза, и это особенно заметно на его больших горизонтах. Практическую значимость результатов исследования составляет предложенная структура интеллектуальной системы управления процессом переработки отходов апатит-нефелиновых руд и программное обеспечение для прогнозирования его параметров, которое может найти применение в различных системах поддержки принятия решений.

Ключевые слова: прогнозирование многомерных временных рядов, переработка рудных отходов, глубокие нейронные сети

Для цитирования: Пучков А. Ю., Лобанева Е. И., Култыгин О. П. Алгоритм прогнозирования параметров системы переработки отходов апатит-нефелиновых руд // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 1. С. 55–68. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-1-55-68

Algorithm for predicting the parameters of a system for processing waste apatite-nepheline ores

A. Puchkov^{1*}, E. Lobaneva², O. Kulygin³

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

² National Research University "MPEI", Moscow, Russia

³ Synergy University, Moscow, Russia

* putchkov63@mail.ru

Abstract. Within the framework of the concept of a circular economy, research in the field of creating technological systems for recycling waste from mining and processing plants occupies one of the key positions. This is connected, on the one hand, with significant volumes of such waste, reaching tens of millions of tons and posing a significant environmental hazard to air and water basins, human health, and, on the other hand, with their rich chemical and mineralogical composition, which makes it possible to call them accumulations of technogenic deposits. In this regard, the task of creating control systems for technological processes of processing such waste and their information support, including support for all stages of the passage of information processes, is urgent. The novelty of the presented research lies in the proposed structure of an intelligent control system for a complex chemical and energy technological system for processing apatite-nepheline ores, as well as in an algorithm for predicting technological parameters, which is part of the information support of the control system under consideration. The algorithm is based on the use of the apparatus of deep recurrent neural networks and Kalman filtering, which is used at the stage of data preprocessing to train the neural network. The paper describes the proposed algorithm for predicting multidimensional time series, adapted to the considered technological process, presents the software executed in the MatLab environment to demonstrate the efficiency of the specified combination of methods for processing technological parameters. In a model experiment, it has been shown that the use of filtering makes it possible to increase the accuracy of the forecast, which is especially noticeable at its large horizons. The practical significance of the research results is the proposed structure of an intelligent control system for the processing of apatite-nepheline ore waste and software for predicting its parameters, which can be used in various decision support systems.

Keywords: multidimensional time series forecasting, ore waste processing, deep neural networks

For citation: Puchkov A., Lobaneva E., Kulygin O. Algorithm for predicting the parameters of a system for processing waste apatite-nepheline ores. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2022, vol.17, no.1, pp.55-68 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-1-55-68

Введение

Решение задачи переработки и вторичного использования отходов крупных промышленных производств лежит в основе концепции циркулярной экономики, или экономики замкнутого цикла. Эта концепция предусматривает, в отличие

от привычной линейной модели производства, минимизацию различного вида загрязнений окружающей среды при сохранении качества продукции, удовлетворении спроса и обеспечении эффективности производства. Циркулярная экономика является важным аспектом Четвертой индустриальной рево-