

DOI: 10.37791/2687-0649-2026-21-1-5-23 EDN: BOKILL

Научная статья

ВАК 1.2.2 ГРНТИ 28.23.20 УДК 004.89

# Нечеткий мультиколониальный метод оптимизации режима термической подготовки полифракционной многослойной массы рудного сырья

**В. П. Мешалкин<sup>1</sup>, В. И. Бобков<sup>2</sup>, О. В. Булыгина<sup>\*</sup>, М. Ю. Воротилова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва, Россия

<sup>2</sup>Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия  
<sup>\*</sup>baguzova\_ov@mail.ru

**Аннотация.** Перспективным способом обеспечения конкурентоспособности промышленной продукции является повышение энергоэффективности технологических процессов за счет снижения объемов потребления топливно-энергетических ресурсов. Для такого энергоресурсоемкого производства, как химико-технологическая система переработки отходов обогащения рудного сырья, данная задача сводится к оптимизации режимов работы конвейерных обжиговых машин, осуществляющих термическую подготовку сырья к переплавке. Высокая вычислительная сложность задачи, вызванная наличием обширного набора управляемых параметров технологической линии и полифракционностью рудного сырья, ограничивает возможности применения аналитических методов. Предлагается использовать природовдохновленный метод, построенный на принципах социального поведения колоний тараканов. Его специфика привела к следующим модификациям базового варианта Cockroach Swarm Optimization: во-первых, для сужения пространства поиска используется мультиколониальный подход, предполагающий рассмотрение варианта многослойной укладки разноразмерных дисперсных составляющих рудного сырья в рамках отдельной колонии; во-вторых, для повышения скорости сходимости алгоритма предложено введение в него элементов теории нечетких множеств для определения «свободных» параметров (расстояния «восприятия», задающего максимальную удаленность от лучших решений; размера шага перемещения агентов в пространстве поиска в направлении к лучшему). Разработанный нечеткий мультиколониальный метод был реализован в виде программы для ЭВМ с использованием языка Python. Результаты вычислительных экспериментов показали сходимость предлагаемого метода оптимизации режимов работы конвейерной обжиговой машины, а их сравнение с ее номинальным режимом – перспективность использования для управления химико-технологическим процессом термической подготовки полифракционного рудного сырья к переплавке.

**Ключевые слова:** термическая подготовка рудного сырья, полифракционная многослойная масса, конвейерная обжиговая машина, многомерная оптимизация режима, нечеткий природовдохновленный метод, мультиколониальный подход

**Для цитирования:** Мешалкин В.П., Бобков В.И., Булыгина О.В., Воротилова М.Ю. Нечеткий мультиколониальный метод оптимизации режима термической подготовки полифракционной многослойной массы рудного сырья // Прикладная информатика. 2026. Т. 21. № 1. С. 5–23. DOI: 10.37791/2687-0649-2026-21-1-5-23.

© Мешалкин В.П., Бобков В.И., Булыгина О.В., Воротилова М.Ю., 2026.

# Fuzzy multicolony method for optimizing the thermal preparation regime of a polyfractional multilayer mass of ore raw materials

V. Meshalkin<sup>1</sup>, V. Bobkov<sup>2</sup>, O. Bulygina<sup>2\*</sup>, M. Vorotilova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

\*baguzova\_ov@mail.ru

**Abstract.** A promising way to ensure the competitiveness of industrial products is to improve the energy efficiency of technological processes by reducing fuel and energy consumption. For energy-intensive production such as a chemical-engineering system for processing ore beneficiation waste, this task boils down to optimizing the operating modes of conveyor roasting machines that thermally prepare the raw material for remelting. The high computational complexity of the problem, caused by the extensive set of controlled process line parameters and the polyfractional nature of the ore raw material, limits the applicability of analytical methods. It is proposed to use a nature-inspired method based on the principles of social behavior in cockroach colonies. Its specific has led to the following modifications to the basic Cockroach Swarm Optimization. Firstly, a multicolony approach, which involves considering a multi-layered arrangement of dispersed ore components of different sizes within a single colony, is used to narrow the search space. Secondly, to improve the algorithm's convergence rate, it is proposed to introduce elements of fuzzy set theory into it to determine the "free" parameters (the "perception" distance, which defines the maximum distance from the best solutions; the step size of agent movement within the search space toward the best solutions). The developed fuzzy multicolony method was implemented as a computer program using Python. The results of computational experiments demonstrated the convergence of the proposed method for optimizing the operating modes of a conveyor roaster, and a comparison with its standard operating mode demonstrated its potential for use in controlling the chemical-engineering process of thermally preparing polyfractional ore raw materials for remelting.

**Keywords:** thermal preparation of ore raw materials, polyfractional multilayer mass, roasting conveyor machine, multidimensional optimization of the regime, fuzzy nature-inspired method, multicolony approach

**For citation:** Meshalkin, V., Bobkov, V., Bulygina, O., & Vorotilova, M. (2026). Fuzzy multicolony method for optimizing the thermal preparation regime of a polyfractional multilayer mass of ore raw materials. *Journal of Applied Informatics*, 21(1), 5–23. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2026-21-1-5-23>

© Meshalkin V., Bobkov V., Bulygina O., Vorotilova M., 2026.

## Введение

В современных условиях перспективным способом обеспечения конкурентоспособности промышленной продукции является повышение энергоэффективности технологических

процессов за счет снижения объемов потребления топливно-энергетических ресурсов [1]. Согласно комплексной государственной программе Российской Федерации от 9 сентября 2023 г. № 1473 «Энергосбережение и повышение энер-