Научная статья
УДК 004.942

ИМИТАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СПЕКАНИЯ ШИХТЫ

О.В. Кирякова[1,*], Л.А. Лапина[1], В.С. Киряков[2] , Е.В. Лапина[2]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
* E-mail: purik28@yandex.ru

Аннотация. Исследование посвящено созданию современных программных систем управления технологическими агрегатами металлургической отрасли, которые характеризуются такими особенностями, как слабая формализация и, как следствие, отсутствие возможностей для автоматизации. С подобными проблемами успешно справляются имитационные модели, реализованные в виде компьютерных тренажеров, позволяющие формировать рекомендации к принятию решений по оптимизации управления. В качестве объекта управления была выбрана технология спекания шихты с целью получения глинозема. Экспертная система процесса спекания шихты разработана для Ачинского глиноземного комбината дочернего предприятия компании РУСАЛ, крупнейшего поставщика глинозёма в России. Программно-целевое управление рассматривается как целый комплекс мероприятий, затрагивающий все виды деятельности предприятия производственную, хозяйственную, техническую, экономическую. Обсуждается подход к процессу моделирования исследуемого процесса, приведен разработанный алгоритм, созданной экспертной системы. С учетом существующих условий нечеткости работы трубчатой печи был создан программный продукт, в основу которого заложены элементы нечеткой логики и искусственного интеллекта на базе технологических инструкций для производственного персонала. Созданная экспертная система позволяет исследовать объект изучения в различных режимах функционирования. Технический персонал, обслуживающий производственный агрегат, получает возможность отработать навыки оптимального безаварийного управления. Внедрение разработанного программного продукта позволит успешно решать задачи оптимизации процесса спекания шихты в трубчатых печах, значительно повысит культуру обслуживания технологического процесса со стороны персонала, рациональность использования технических ресурсов, принесет значительную экономическую прибыль.

Ключевые слова: *компьютерный тренажер; имитационное моделирование; управление с нечеткой логикой; трубчатая печь; производство глинозема.*

Для цитирования: Кирякова О.В., Лапина Л.А., Киряков В.С., Лапина Е.В. Имитационное управление процессом спекания шихты // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2024. Т.10. № 2. С. 80–89.

IMITATION SYSTEM BY THE CHARGE SINTERING PROCESS

O.V. Kiryakova [1,*], L.A. Lapina[1], V.S. Kiryakov [2], E.V. Lapina[2]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[2] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
* E-mail: purik28@yandex.ru

© Кирякова О.В., Лапина Л.А., Киряков В.С., Лапина Е.В.

Abstract. The study is devoted to the development of modern software control systems for technological units of the metallurgical industry. They are characterized by such features as weak formalization and the lack of opportunities for automation. Simulation models, implemented in the form of computer simulators, solve such problems successfully. They make it possible to generate recommendations for decisions making on optimization of control. The technology of the charge sintering was chosen as an object of control in order to manufacture alumina. An expert system for charge sintering was developed for the Achinsk Alumina Refinery, a subsidiary of RUSAL, the largest alumina supplier in Russia. Target-programmed management is considered as a whole complex of measures affecting all types of enterprise activities, i.e., production, economic, technical, and economic activities. The paper discusses an approach to modeling the process under study. The proposed algorithm of the developed expert system is presented. A software product was created taking into account the existing conditions of the fuzzy operation of the tube furnace. It is based on elements of fuzzy logic and artificial intelligence on the basis of technological instructions for production staff. The developed expert system makes it possible to study the object of study in various modes of operation. The technical staff serving a manufacturing unit gets the opportunity to practice the skills of optimal accident-free control. The implementation of the developed software product will make it possible to solve the problems of optimizing the charge sintering in tube furnaces successfully. The computer simulator in the training process will bring the work of technical personnel to a higher professional level.

Key words: *computer simulator; simulation; tube furnace; fuzzy logic control; alumina manufacturing.*

For citation: Kiryakova O.V., Lapina L.A., Kiryakov V.S., Lapina E.V. Imitation system by the charge sintering process. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2024. V.10. No.2, pp. 80–89.

Введение

В настоящее время интенсивно развиваются математические основы искусственного интеллекта, внедряемые в фундамент индустриальной автоматизации основных производственных процессов металлургии [3, 8].

Нечеткие системы управления широко востребованы и лидируют в использовании при решении задач оптимизации, анализа и контроля технологических процессов с целью повышения эффективности производственных показателей [14]. Внедрение экспертных систем (ЭС) в практику работы металлургических предприятий находится в зависимости от формата разработки ЭС и ее программной реализации [4], так гибкие методологические разработки на основе Agil-метода, ориентированного на использование интерактивной системы управления с динамическим формированием требований пользователей, являются лидерами [10].

Автоматизация нового уровня сложности на базе искусственного интеллекта приводит к цифровой трансформации целого ряда направлений управления, инфраструктуры, профессиональных компетенций [11].

Современное промышленное производство, в соответствии с инновациями программы Индустрия 5.0, проводит массовое внедрение в технологический процесс интеллектуальных продуктов, позволяющих объединить людей и машины на рабочем месте. Эти, несомненно, прорывные инновации приведут к динамичному устойчивому развитию и экономическому успеху производств [5].

Ачинский комбинат является крупнейшим глиноземным предприятием России. Технология производства глинозема из нефелиновой руды и известняка уникальна, создана Всероссийским алюминиево-магниевым институтом. Предприятие производит продукцию с 1970 года.

Согласно технологии, спекание нефелино-известняковой шихты производится в трубчатых вращающихся печах. На переделе установлены: колосниковый холодильник, мультициклоны и электрофильтры [6].

Автоматизация процесса спекания шихты осложнена неравномерным температурным режимом в зонах печи. Внутренние возмущения и взаимовлияние контролируемых параметров, физико-химические превращения компонентов шихты приводят к затруднению контроля выходных параметров при введении управляющих воздействий. Показания газоанализаторов искажаются из-за подсосов воздуха вследствие неплотности соединения переходной камеры, головки печи, барабана. Шихта склонна замазывать трубопроводы и расходомеры, что приводит к невозможности корректной фиксации параметров процесса спекания [1].

Практически отсутствие систем эффективного контроля и управления приводит к возможности аварийных остановок оборудования, что в значительной степени ставит показатели процесса спекания в зависимость от квалификации и профессионального опыта технического персонала.

Одним из основных инструментов решения подобных задач управления являются программные системы поддержки принятия решений, реализованные в виде тренажеров. Виртуальные модели исследования технологических процессов получили широкое применение на современном индустриальном поле деятельности, так как это позволяет резко интенсифицировать процессы в агрегатах единичной мощности [9].

Методы исследования и материалы

Исследования по созданию экспертных систем управления в металлургической промышленности проводятся в России и во всем мире. Создано огромное количество тренажеров-имитаторов [2,12]. Однако, проблема применения в широкой практике заключается в том, что особенности технологий отдельных производств не позволяют тиражировать разработки. Невозможность к адаптации под конкретное производство приводит к единственной возможности – созданию уникальных экспертных систем под конкретных заказчиков.

Комплексный анализ автоматизации технологии процесса спекания шихты на Ачинском глиноземном комбинате показал, что процесс оснащен лишь несколькими локальными датчиками, что приводит к невозможности оперативного управления технологическими показателями.

В настоящем исследовании были использованы элементы имитационного управления, успешно применяемые для повышения эффективности технологических показателей в слабо определенных технологических процессах.

Задачи имитационного управления методически базируются на гипотезе компактного соответствия, позволяющей предположить, что если управление технологическим объектом осуществляется по близким траекториям, то и фазовые изменения будут близкими [7].

Цель исследования – разработка в объектно-ориентированной среде программирования на базе экспертной системы компьютерного тренажера (КТ) для имитационного управления в многофункциональном режиме технологией спекания шихты.

Для реализации поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- детально проанализировать объект исследования с точки зрения химических и физических превращений веществ; исследовать параметры, определяющие эффективность процесса спекания шихты;
- разработать математическое и алгоритмическое описание процесса;
- на основе анализа эмпирических данных определить параметры эффективного управления;
- разработать алгоритм функционирования экспертной системы спекания шихты;

- осуществить практическую реализацию экспертной системы в форме КТ.

Исходными материалами для проведения исследования послужили: обширные эмпирические данные по статистике работы вращающихся печей в течение года, полученные на предприятии заказчика; технологические инструкции процесса спекания.

Для проведения научного исследования были использованы научные методы: анализа – исследуемой проблематики и объекта; метод научного описания – для структуризации полученных данных; метод формализации – для описания технологии и аппаратурного обеспечения; для расчета теплообмена применен зонально-резольвентный метод.

Результаты научного исследования

Спекание нефелино-известняковой шихты осуществляется в вращающихся печах спекания. Шихта подается наливом в холодный конец печи. В зоне спекания происходит образование растворимых алюминатов и нерастворимых силикатов. В качестве топлива используются уголь и мазут.

Анализ физико-химических превращений технологического процесса спекания шихты; уравнений баланса; эмпирических данных позволил создать математическую модель (ММ) температурного режима печи.

В основе ММ лежит система нелинейных уравнений тепловых потоков в зонально-резольвентной постановке (1) [7]:

$$\begin{cases} \delta_0\varepsilon_m(\psi_{m,m}\varepsilon_m \mathrm{T}_m^4 F_m + \psi_{m,l}\varepsilon_l l F_l + \psi_{g,m,}\varepsilon_g \mathrm{T}_g^4 F_g - \mathrm{T}_g^4 F_m) + \\ + \alpha(\mathrm{T}_g - \mathrm{T}_m)F_m^{op} - M_m(C_m T_m - C_m^{n-1}T_m^{n-1}) - Q^{h,c} = 0; \\ \delta_0\varepsilon_l(\psi_{m,l}\varepsilon_m \mathrm{T}_m^4 F_m + \psi_{l,l}\varepsilon_l \mathrm{T}_l^4 F_l + \psi_{g,m,}\varepsilon_g \mathrm{T}_g^4 F_g - \mathrm{T}_l^4 F_l) + \\ + \alpha(\mathrm{T}_g - \mathrm{T}_l)F_l^{op} - \pi l_n k_l(\mathrm{T}_l - \mathrm{T}_0) = 0; \\ \delta_0\varepsilon_g(\psi_{m,g}\varepsilon_m \mathrm{T}_m^4 F_m + \psi_{l,g}\varepsilon_l \mathrm{T}_l^4 F_l + \psi_{g,g,}\varepsilon_g \mathrm{T}_g^4 F_g - \mathrm{T}_g^4 F_g) + \alpha(\mathrm{T}_m - \mathrm{T}_g)F_m^{op} + \\ \alpha(\mathrm{T}_l - \mathrm{T}_g)F_l^{op} + Q^T - M_g(C_g T_g - C_g^{n+1}T_g^{n+1}) - Q^{h,c} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где δ_0 – универсальная постоянная Стефана-Больцмана; ε_m, ε_l, ε_g – степени черноты материала, футеровки и газа; $\psi_{m.m}$, $\psi_{m.l}$, $\psi_{m.g}$, $\psi_{l.m}$, $\psi_{l.l}$, $\psi_{l.g}$, $\psi_{g.m}$, $\psi_{g.l}$, $\psi_{g.g}$ – обобщенные угловые коэффициенты излучения поверхностей материала, футеровки и газа; T_m, T_l, T_g – температуры материала, футеровки и газа; F_m, F_l, F_g – площади поверхностей материала, футеровки и газа; α – коэффициент конвективной теплоотдачи; F_m^{op}, F_l^{op} – площадь открытых поверхностей материала и футеровки; M_m, M_g – массы материала и газового потока; C_m, C_g – теплоемкости материала и газа; C_m^{n-1}, T_m^{n-1}, C_g^{n+1}, T_g^{n+1} – теплоемкости и температуры материала на предыдущем и $Q^{h.c}$ – газа на следующем расчетных участках; l_n – длина расчетного участка; k_L – линейный коэффициент теплопередачи для цилиндрической стенки; T_o – температура окружающего воздуха. Система решена с использованием метода Ньютона.

Расчет контролируемых параметров и управляющих воздействий базируется на регрессионных моделях, построенных по экспериментальным данным предприятия заказчика.

В качестве примера приведем расчет влагоемкости спека (2):

$$\omega = a_1 \cdot f(F_{f,0}) + a_2 \cdot f(F_{coal}) + a_3 \cdot f(F_{p,a}) + a_4 \cdot f(F_{s,a}) + a5 \cdot f(\mathrm{T}_{s,a}) \quad (2)$$

где ω – влагоемкость спека; a_1, a_5 – настроечные коэффициенты; $f(F_м)$, $f(F_{уг})$, $f(F_{п.в})$, $f(F_{в.в})$, $f(T_{в.в})$ – зависимости извлечения глинозема от количества мазута, угля, первичного и

вторичного воздуха. Коэффициенты математической модели, определенные экспериментальным путем, уточнялись методом экспертных оценок.

Экспертная система осуществляет параллельный расчет выходных параметров в зависимости от любого управляющего воздействия, по ним производится оценка оптимальности протекания технологического процесса.

Для повышения обоснованности выбора оптимального управления процессом спекания средствами имитационного моделирования применяется разработанная авторами имитационная модель управления. Множество квазидинамических состояний различных зон вращающейся печи, определены в соответствии с наложенными управляющими воздействиями (3):

$$\{S_m\}:\{U_a, a \in X_a, R_m(X_m)\}, \quad (3)$$

где X_m – множество квазисостояний объекта управления, X_a, $R_m(X_m)$ – алгоритм выбора управляющего воздействия.

Схема функционирования экспертной системы приведена на рис.1.

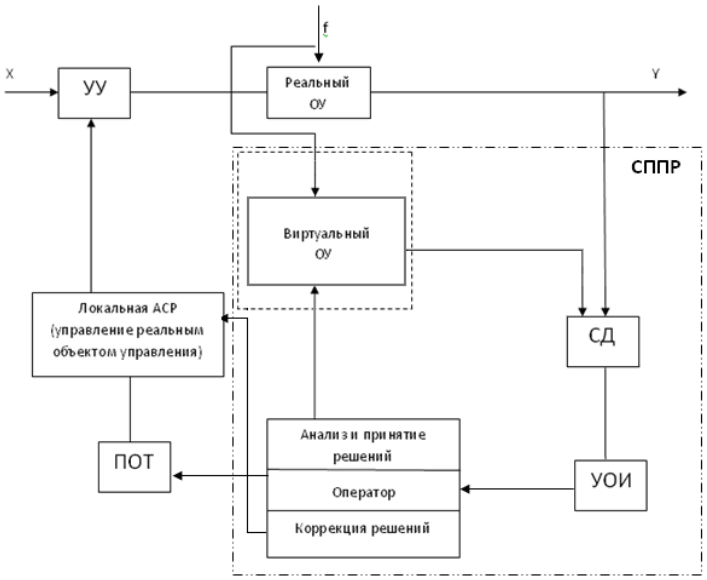


Рисунок 1 – Схема экспертной системы спекания шихты. Обозначения: УУ – устройство управления, контролирует по центральному тактовому сигналу выполнение функций, необходимых для обеспечения работы вычислительного устройства; Реальный ОУ – реальный объект управления контролирует вращающуюся печь; Виртуальный ОУ – компьютерный тренажер; СД – система диагностики; УОИ – устройство отображения информации; ПОТ – пульт оператора-технолога; Локальная АСР – локальная автоматическую систему регулирования.

Сбор технологической информации и контроль над параметрами спекания шихты осуществляется при помощи датчиков. Значения параметров направляются на математическую обработку, где происходит вычисление параметров по математической модели, которые нельзя измерить датчиками. Все значения параметров визуализируются на экране для оператора-технолога. Технолог анализирует состояние процесса, и на основании анализа вносит различные коррективы в ход процесса.

Система диагностики производит сравнение полученной информации с оптимальными и аварийными значениями параметров для выявления отклонений и расчета оптимального регулирующего воздействия.

При сравнении параметров, экспертная система делает вывод о состоянии каждого, отдельно взятого, параметра: оптимальное значение он имеет или аварийное. Если выявлены какие-то отклонения, то немедленно на экран выводится сообщение оператору-технологу, о необходимости управления процессом или решения создавшейся аварийной ситуации. В случае согласия технолога с предлагаемым регулирующим воздействием системы, отдается команда о внесении предложенного регулирующего воздействия. Допускается и автоматическая регулировка параметров в соответствии с запрограммированной в нее логикой работы (супервизорный режим работы).

Авторами разработан алгоритм функционирования экспертной системы спекания шихты (рис. 2).

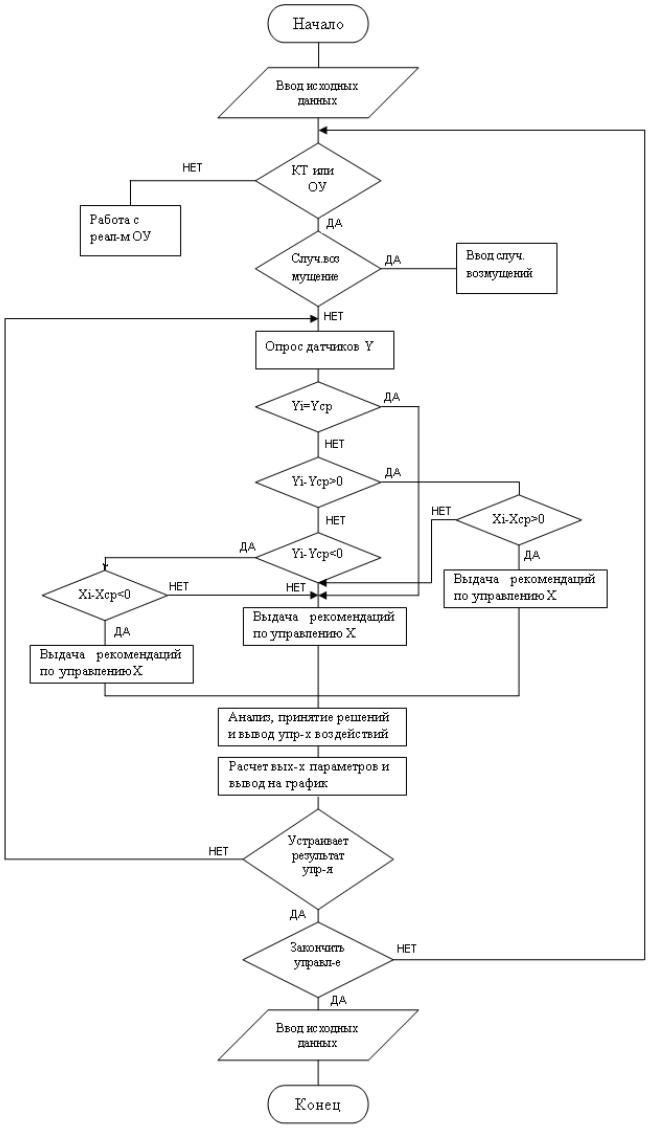


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма работы компьютерного тренажера.

Блок-схема содержит следующие обозначения: «Yi-Ycp<0» – превышает ли оптимальное значение текущее значение параметра входного; «Xi-Xcp>0» – превышает ли значение текущего выходного параметра оптимальное значение; «Xi-Xcp<0» – превышает ли оптимальное значение текущее значение выходного параметра; «Выдача рекомендаций по управлению X» – выдача рекомендаций для нормализации текущего выходного параметра; «Анализ, принятие решений и вывод управляющих воздействий» –выдача рекомендаций по управляющим воздействиям для нормализации процесса; «Расчет выходных параметров и вывод на график» – применение полученных рекомендаций по управлению процессом на

компьютерном тренажере и вывод полученных данных на график; «Устраивает результат управления» – устраивает ли полученный результат поставленным требованиям; «Закончить управление» – остановка работы тренажера.

Алгоритм управления системой реализует логику проверки отдельных заданных параметров с целью избежать отклонений ведения процесса от регламента. Многофункциональность созданного алгоритма позволяет вести управления в различных режимах.

На базе данного алгоритма программными средствами создан компьютерный тренажер, имитатор процесса спекания шихты.

В качестве программной среды разработки была выбрана Borland C++Builder 6, что позволило успешно применить методы структурного проектирования языка C++ в среде визуального программирования Borland C++Builder 6. Программный пакет соответствует всем предъявляемым требованиям для разработки интеллектуальных систем подобного уровня [13].

Тренажер реализован на базе персональной ЭВМ. Источниками входной информации служат базы данных или параметры, вводимые с клавиатуры. Выходная информация представляется в виде отчетов, графиков или баз данных на мониторе ЭВМ.

КТ имеет несколько режимов работы: режим «советчика» и режим «обучения», что дает возможность его использования на практике как в качестве экспертной системы для принятия решений, так и для отработки навыков технического персонала.

Интерфейс представляет мнемосхему основного технологического оборудования, с описанием всех регулируемых параметров. Выведены элементы управления в интерактивном режиме входными параметрами: расходом мазута, угольного порошка, технологической пыли, шихты, первичного и вторичного воздуха [7]. Тренажер имитирует всю последовательность действий процесса спекания шихты.

При выборе режима «советчика» тренажер осуществляет поиск в базе данных управляющих воздействий оптимальных в сложившихся условиях.

Многофункциональность тренажера позволяет решать исследовательские задачи по выдаче прогнозных рекомендаций, позволяющих выработать режим оптимального управления как одним, так и несколькими параметрами.

Возможность использования тренажера в режиме обучения позволяет вывести работу технического персонала на более высокий профессиональный уровень. Снизить количество аварийных ситуаций и остановок технологического процесса.

Заключение

Особенностью исследования является создание многофункциональной экспертной системы, способной решать большое количество задач: от задач профессионального роста сотрудников компании до высокоэффективного оптимального управления технологией спекания шихты.

Анализ полученных результатов исследования и апробация экспертной системы на Ачинском глиноземном комбинате, позволяют сделать заключение о востребованности подобных систем и интересе предприятия-заказчика к дальнейшему сотрудничеству по совершенствованию интеллектуальной системы, о совершенно новых возможностях цифровизации и трансформации традиционных металлургических производственных процессов.

В результате проведенного исследования разработана и получила практическую реализацию экспертная система технологии спекания шихты с целью получения глинозема.

Авторами создана математическая модель исследования температурного режима вращающейся печи. На базе разработанного математического и алгоритмического обеспечения построена имитационная модель управления, реализованная программными средствами в форме компьютерного тренажера.

Практическая ценность результатов исследования напрямую связана с задачами программы Индустрия 5.0, призванной максимально применить возможности интеллектуальных систем в технологии современных производств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беленький А.М., Бердышев В.Ф., Блинков О.М., Каганов В.Ю. Автоматическое управление металлургическими процессами. Москва: Металлургия, 1989. 384 с.
2. Computer simulators and trainers [Электронный ресурс]. URL: https://metalspace.ru/education-career/education/simulator.html (дата обращения: 18. 09.2021).
3. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник. Кемерово: Кузбассвузиздат; Москва: АСТ, 2006. 431 с.
4. Dimitrov B.H., Nenov H.B., MarinovA.S. Comparative analysis bet ween methodologies and their software realizations applied to modeling and simulation of industrial thermal processes // 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2013 (Opatija; Croatia; 20-24, May 2013). Article No. 6596383. P. 891 - 895.
5. Евгенев Г.Б. Индустрия 5.0 как интеграция Интернета знаний и Интернета вещей // Онтология проектирования. 2019. Т.9, №1. С.7-23.
6. Глинков Г.М., Косарев А.И., Шевцов Е.К.. Контроль и автоматизация металлургических процессов. Москва: Металлургия, 1989. 352 с.
7. Горенский Б.М., Кирякова О.В., Ченцов С.В., Лапина Л.А., Информационные технологии в управлении технологическими процессами цветной металлургии. Красноярск: Сиб. федерал. ун-т., 2012. 147 с.
8. Чертов А.Д. Применение систем искусственного интеллекта в металлургической промышленности // Металлург. 2003. №7. С. 32-37.
9. Kiryakova O. V., Lapina L. A., Gron D. N. Expert system of management of platinum affinage technology // Цветные металлы. 2015. №7. С 80-84.
10. Lavrov V.V., Spirin N.A., Gurin I.A., Rybolovlev V.Yu., Krasnobaev A.V. Modern methodology and computer technologies for creating software of model systems supporting decision-making in metallurgy. Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2017. № 60(8). P. 679-685.
11. Мартусевич Е.А., Буинцев В.Н. Тренажер «Алюминщик» для обучения технологического персонала литейного отделения алюминиевого завода // Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности. Материалы II Международной научно-практической конф. (Екатеринбург, 18-21 сентября 2017). Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2017. С. 224-228.
12. SIKE: Electronic catalog of teaching aids [Электронный ресурс]. URL: https://shop.sike.ru/katalog#metallurgiya (дата обращения: 11.10.2021).
13. Troelsen E. Library of the programmer: C # and .NET platform: study guide. St. Petersburg: Peter, 2017. 800 p.
14. Vyatkin V . Software engineering in industrial automation: state-ofthe-art review // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2013. Vol. 9. No. 3. P. 1234-1249.

REFERENCES

1. Belen'kij A.M., Berdyshev V.F., Blinkov O.M., Kaganov V.Yu. *Avtomaticheskoe upravlenie metallurgicheskimi processami* [Automatic control of metallurgical processes]. Moscow: Metallurgiya, 1989. 384 p.
2. Computer simulators and trainers [Electronic resource]. URL: https://metalspace.ru/education-career/education/simulator.html (date of access: 18.09.2021).

3. Cymbal V.P. *Matematicheskoe modelirovanie slozhnyh sistem v metallurgii: uchebnik* [Mathematical modeling of complex systems in metallurgy: textbook]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat; Moskva: AST, 2006. 431 p.
4. Dimitrov B.H., Nenov H.B., MarinovA.S. Comparative analysis bet ween methodologies and their software realizations applied to modeling and simulation of industrial thermal processes // 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2013 (Opatija; Croatia; 20-24, May 2013). Article No. 6596383. P. 891-895.
5. Evgenev G.B. *Industriya 5.0 kak integraciya Interneta znanij i Interneta veshchej* [Industry 5.0 as the integration of the Internet of knowledge and the Internet of things]. *Ontologiya proektirovaniya*. 2019. Vol.9, No.1, pp.7-23.
6. Glinkov G.M., Kosarev A.I., Shevcov E.K.. *Kontrol' i avtomatizaciya metallurgicheskih processov* [Control and automation of metallurgical processes]. Moskva: Metallurgiya, 1989. 352p.
7. Gorenskij B.M., Kiryakova O.V., Chencov S.V., Lapina L.A. *Informacionnye tekhnologii v upravlenii tekhnologicheskimi processami cvetnoj metallurgii*
[Information technologies in the management of technological processes in non-ferrous metallurgy]. Krasnoyarsk: Sib. federal. un-t., 2012. 147 p.
8. Chertov A.D. *Primenenie sistem iskusstvennogo intellekta v metallurgicheskoj promyshlennosti* [Application of artificial intelligence systems in the metallurgical industry]. *Metallurg*. 2003. No.7, pp. 32-37.
9. Kiryakova O. V., Lapina L. A., Gron D. N. Expert system of management of platinum affinage technology. Cvetnye metally. 2015. No.7, pp. 80-84.
10. Lavrov V.V., Spirin N.A., Gurin I.A., Rybolovlev V.Yu., Krasnobaev A.V. Modern methodology and computer technologies for creating software of model systems supporting decision-making in metallurgy. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2017. No. 60(8), pp. 679-685.
11. Martusevich E.A., Buincev V.N. *Trenazher «Alyuminshchik» dlya obucheniya tekhnologicheskogo personala litejnogo otdeleniya alyuminievogo zavoda* [Simulator "Alyuminshchik" for training the technological personnel of the foundry department of an aluminum plant]. Sovremennye nauchnye dostizheniya metallurgicheskoj teplotekhniki i ih realizaciya v promyshlennosti. Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konf. (Ekaterinburg, 18-21 sentyabrya 2017). Ekaterinburg: Izd-vo UrFU, 2017, pp. 224-228.
12. SIKE: Electronic catalog of teaching aids [Electronic resource]. URL: https://shop.sike.ru/katalog#metallurgiya (date of access: 11.10.2021).
13. Troelsen E. Library of the programmer: C # and .NET platform: study guide. St. Petersburg: Peter, 2017. 800 p.
14. Vyatkin V . Software engineering in industrial automation: state-ofthe-art review // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2013. Vol. 9. No. 3, pp. 1234-1249.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Кирякова Оксана Валерьевна – доцент, Сибирского федерального университета (660025, Россия, г. Красноярск, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ИЦМ СФУ, e-mail: purik28@yandex.ru)	*Kiryakova Oksana Valerievna* – Assoc. Prof., Siberian Federal University (660025, Russia, Krasnoyarsk, avenue named after newspapers "Krasnoyarsk Worker" 95, e-mail: purik28@yandex.ru)
Лапина Лариса Александровна – доцент, Сибирского федерального университета (660025, Россия, г. Красноярск, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 95, ИЦМ СФУ, e-mail: lapina-l@mail.ru)	*Lapina Larisa Alexandrovna* – Assoc. Prof., Siberian Federal University (660025, Russia, Krasnoyarsk, avenue named after newspapers "Krasnoyarsk Worker" 95, e-mail: lapina-l@mail.ru)

Киряков Валерий Сергеевич – аспирант Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (660037, Россия г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, корпус "П", e-mail: valerakiryakov@gmail.com)	*Kiryakov Valery Sergeevich* - Graduate student Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, (660037, Russia, Krasnoyarsk, avenue named after newspapers "Krasnoyarsk Worker" 31, building "P", e-mail: valerakiryakov@gmail.com)
Лапина Елена Владимировна – старший преподаватель Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (660037, Россия г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, корпус "П", e-mail: ev-lapina@mail.ru)	*Lapina Elena Vladimirovna* – Senior Lecturer Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, (660037, Russia, Krasnoyarsk, avenue named after newspapers "Krasnoyarsk Worker" 31, building "P", e-mail: ev-lapina@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 04.03.2024; одобрена после рецензирования 21.03.2024, принята к публикации 12.04.2024.
The article was submitted 04.03.2024; approved after reviewing 21.03.2024; accepted for publication 12.04.2024.