УДК 004.891; 004.8.032.26

Э.Д.КАДЫРОВ, *канд. техн. наук, доцент, (812)328-82-56*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

E.D.KADYROV, *PhD in eng. sc., associate professor, (812)328-82-56*
Saint Petersburg State Mining University

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ МЕДИ

Рассмотрен методологический подход к синтезу комплексной автоматизированной системы управления производством. Описана структура системы, включающая мультимодельный модуль, в котором разработана модель технологического процесса с применением экспертных методов, алгоритмов нечеткой логики и нейронных сетей.

***Ключевые слова*:** автоматизация производства, мультимодельная система, интеллектуальные системы управления, экспертные системы, нечеткая логика, нейронные сети.

INTEGRATED AUTOMATIC PROCESS CONTROL SYSTEM OF PYROMETALLURGICAL COPPER PRODUCTION

The methodological approach to synthesis of the complex automated control system by manufacture is considered. The structure of system including the multimodelling module is described. In the multimodelling module the model of technological process on the basis of expert methods, fuzzy-logic, neural networks is described.

***Key words*:** manufacture automation, multimodelling system, intellectual control systems, expert systems, fuzzy-logic, neural networks.

Введение. Для современных предприятий металлургии характерна сложная инфраструктура, связанная с многопрофильностью подразделений, их территориальной удаленностью и различным производственным потенциалом. Эти подразделения имеют тесную взаимосвязь производственного и финансового характера.

При постановке задачи комплексной автоматизированной системы управления пирометаллургическим производством, характеризующимся высокотемпературными, многопараметрическими и нелинейными технологическими процессами непрерывного (плавильные агрегаты) и периодического (конвертеры) действия, необходимо учитывать сложность объектов и недостаточность информации о ходе технологического процесса.

Комплексная система управления подразумевает интеграцию систем управления отдельными технологическими процессами и производствами в одно целое с интеллектуализацией модели. Интегрированная система управления призвана сделать производственную картину целостной, структурированной, функционально законченной и адаптировать огромный объем технологической и производственной информации к потребностям каждого конкретного специалиста: диспетчера, инженера, технолога или руководителя.

Синтез АСУ. Структурная схема комплексной автоматизированной системы управления (АСУ) пирометаллургическим производством представлена на рис.1.

Переработка сырья пирометаллургическим способом – сложный многостадийный

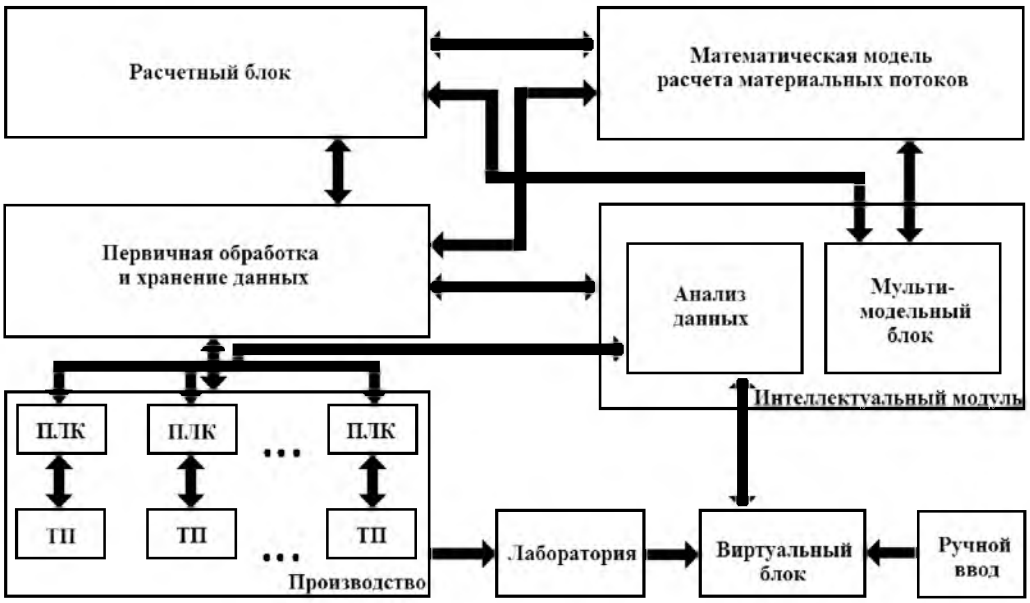


Рис.1. Структурная схема комплексной автоматизированной системы управления

процесс с нехваткой информации для управления, включающий как непрерывные процессы, так и периодические. Пирометаллургическое производство образуется последовательностью технологических процессов переработки материалов из одного состояния в другое.

Информация с объекта поступает на программируемые логические контроллеры (ПЛК), автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов и системы визуализации данных (SCADA-системы). Кроме этого, пробы материалов и продуктов с технологического процесса направляются в лабораторию для химического анализа. Это связано с недостаточностью и дискретностью информации о ходе реального протекания процесса. Задания, уставки на технологический процесс пирометаллургического производства, корректировка коэффициентов устройств управления и другие вводы в систему производятся через блок ручного ввода на виртуальный блок и в интеллектуальный модуль. Далее информация поступает на общий сервер, где хранится в виде графиков, таблиц, трендов и др. Там же производится первичная обработка данных: проверка данных на соответствие реальным значениям, отсев случайных величин, устранение провалов данных и других ошибок*. Созданная база данных направляется для дальнейшей обработки в блок «Анализ данных». Здесь ведется статистический анализ данных, формируются основные закономерности между параметрами процесса, выдвигаются предварительные гипотезы по применению одной из математических моделей технологического процесса в мультимодельном блоке. Он представляет собой параллельно работающие несколько математических моделей объекта, созданные с применением нейронных сетей, нечеткой логики, экспертных моделей и др.

Расчет себестоимости продукции, оптимальных значений технологического процесса и производства, технико-экономические показатели и другие предварительные расчеты производятся параллельно в расчетном блоке в соответствии с регламентом технологических процессов и производств.

---

* *Кравченко А.Н.* Оценка погрешности информационных каналов систем управления / А.Н.Кравченко, И.Н.Белоглазов, Э.Д.Кадыров // Записки Горного института. 2006, Т.169.

Kravtshenko A.N., Beloglasov I.N., Kadyrov E.D. Estimation of an error of information channels of control systems // Notes of Mining Institute. 2006. Vol.169.

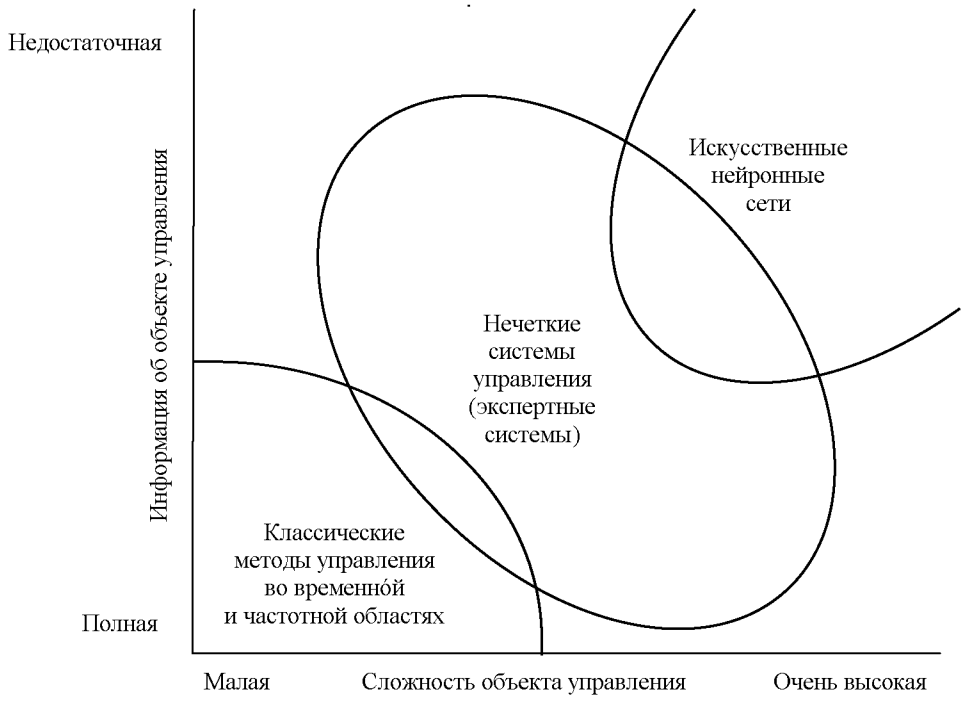


Рис.2. Области наиболее эффективного применения современных технологий управления

С целью интеграции технологического процесса в единое производство в структуру включают параллельно работающую в реальном времени математическую модель материальных потоков. Балансовая модель производства для пирометаллургического процесса была разработана во многих работах специалистов в этой области, в том числе в магистерской работе Н.В.Даниловой. Результаты расчетов были рекомендованы к применению в промышленности.

В данной структурной схеме комплексной АСУ самым важным блоком является мультимодельный блок, который требует выполнения большого объема работы по моделированию технологических систем с применением различных методов.

Применение современных методов моделирования для создания математического аппарата для управления процессом зависит от сложности объекта управления и полноты информации о ходе технологического процесса и производства (рис.2).

Способы моделирования АСУ. Классические методы управления хорошо работают при полностью детерминированных объекте управления и среде, а для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления, какими являются пирометаллургические процессы, оптимальными являются нечеткие и нейросетевые методы управления.

Эти методы хороши тем, что для создания математической модели системы управления процессом не нужны все подробности о протекании технологического процесса. Достаточно иметь информацию на входе и выходе системы и приблизительную структурную взаимосвязь технологических параметров процесса и производства. Полученная модель обучается и накапливает знания об объекте, после чего производится проверка адекватности модели технологическому процессу.

Рассмотрим понятие мультимодельности (использования различных способов моделирования АСУ) на примере разработки математической модели процесса Ванюкова.

1. Применение нейронных сетей и нечеткой логики. Применение нейросетевых технологий и нечеткой логики для управления процессом плавки в печи Ванюкова

имеет множество возможных реализаций*. Это обусловлено гибкостью и универсальностью самих нейронных сетей, которые могут быть использованы для локальных систем управления или стабилизации (хотя в данном случае гораздо дешевле использовать традиционные системы локального регулирования) и для оптимизационного многоконтурного управления всем процессом в целом, а также сложностью и непредсказуемостью самого технологического процесса. При этом наиболее оптимальным образом математический аппарат будет работать именно с комплексом переменных, описывающих текущее состояние процесса, и базой данных переменных процесса, сформированной именно для нужд управления.

Создание системы управления с применением нейронных сетей и нечеткой логики требует несколько больших затрат, чем построение системы управления с использованием традиционных методов. Это связано и с высокой стоимостью аппаратного и математического обеспечения системы, и с более высокими затратами на отладку системы. Тем более, что адекватного или оптимального управления процессом можно добиться не сразу. Для адекватного функционирования таких систем необходимо создание базы данных процесса.

Вариантом создания системы управления может быть и объединенная система, построенная из подсистем управления различными технологическими составляющими процесса и экспертной системы, также созданной на базе нейронной сети. В таком комплексе нейронные сети подсистем реагируют на изменяющуюся ситуацию относительно небольшого набора конкретных параметров, а общая картина технологического процесса передается для рассмотрения экспертной системе. В результате сложные решения принимаются на более высоком уровне с учетом дополнительных данных и привлечением обслуживающего персонала.

Еще одним вопросом функционирования такой системы управления процессом плавки в печи Ванюкова является надежность такой системы. Некоторые проблемы с анализом надежности нейросетевых систем управления возникают из-за допущения полной безошибочности компьютеров, тогда как искусственные нейронные сети могут быть неточны даже при их правильном функционировании. На самом же деле компьютеры, как и люди, могут ошибаться. Первые – в силу различных технических проблем или ошибок в программах, вторые – из-за невнимательности, усталости или непрофессионализма. Следовательно, для создания надежной системы управления таким сложным процессом, как плавка в печи Ванюкова, необходимо, чтобы эти системы дублировали и страховали друг друга.

2. Применение экспертных систем. Разработан метод построения баз знаний (БЗ) путем формализации экспертных знаний в аналитическом виде, позволяющий использовать и качественную информацию для создания эффективных управляющих моделей металлургических процессов. Согласно алгоритму построения модели эксперт определял факторное пространство, в котором управление процессом наиболее эффективно. Для процесса Ванюкова такими факторами стали: x_1 – скорость подачи концентрата, т/ч; x_2 – скорость подачи флюса, т/ч; x_3 – расход кислорода, $м^3$/ч; x_4 – содержание кислорода в кислородно-воздушной смеси, %; x_5 – температура кессонов, °С; x_6 – высота ванны; x_7 – температура шлака в сифоне, °С.

Управляющими переменными, которыми ведут процесс, эксперт выбрал: y_1 – уставку скорости подачи концентрата, т/ч; y_2 – уставку скорости подачи флюса, т/ч.

Отметим, что y_1, y_2 имеют тот же смысл и размерность, что и x_1, x_2, но разделены временем от предыдущего до последующего измерения, что обусловливает их независимость.

Оценку адекватности полученного алгоритма управления технологическим про-

---

* *Кравченко А.Н.* Нейросетевые технологии в системе управления процессом плавки в печи Ванюкова / А.Н.Кравченко, И.Н.Белоглазов, Э.Д.Кадыров // Записки Горного института. 2006. Т.169.

Kravtshenko A.N., Beloglasov I.N., Kadyrov E.D. Neural network in a control system of fusion process in furnace Vanjukova // Notes of Mining Institute. 2006. Vol.169.

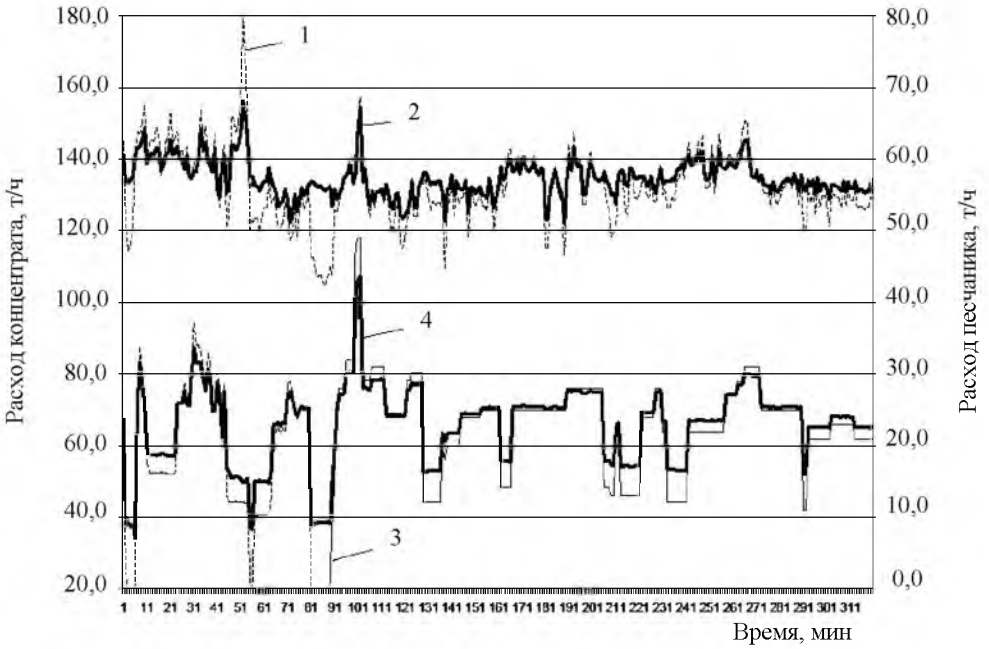


Рис.3. Динамика загрузки концентрата (1, 2) и флюса (3, 4) в течение смены:
1, 3 – оператор ПВ; 2, 4 – расчет по модели

цессом проводили на массиве данных оперативного контроля целой смены, которую вел оператор в рядовых условиях. Сравнение ведем по обеим переменным. По поведению графиков (рис.3) можно говорить о высокой степени адекватности рассчитанных по модели значений и фактическим данным.

Таким образом, в условиях нечеткости исходной информации оправданным является «интеллектуализация» АСУТП путем создания управляющей модели на основе знаний эксперта. Разработанная эффективная модель обработки входной информации и выработки управляющих воздействий на технологический объект способна стать основой для программной реализации интеллектуальной САУ в реальном масштабе времени. Отметим, что область эффективного применения интеллектуальной САУ охватывает весь диапазон изменения рабочих параметров, регламентируемый технологической инструкцией для процесса плавки сульфидного медного никельсодержащего сырья в печи Ванюкова на медном заводе ОАО ГМК «Норильский никель».

Выводы

1. Создание комплексной АСУ пирометаллургического производства меди, т.е. управление технологическим процессом с учетом особенностей производства и создание вертикальной системы управления в условиях рынка, актуально и своевременно. Единое общее информационное поле для производства и технологического процесса позволяет оперативно в реальном времени оптимизировать ведение технологического процесса при изменении производственных заданий.

2. Интеллектуальная модель комплексной системы с мультимодельным блоком представляет собой новый подход к проблеме принятия верного решения в ходе ведения технологического процесса.

3. Предложение в реальном времени нескольких вариантов принятия решения позволяет обеспечить надежность работы АСУ.

4. Разработке систем, структура которой представлена в виде отдельных блоков, посвящено много работ. Достаточно успешно проведены исследования отдельных модулей. Создание подобных систем весьма перспективно.