УДК 004.386

Н.И.КОТЕЛЕВА, *аспирантка, asutp@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

N.I.KOTELEVA, *post-graduate student, asutp@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА В ПЕЧАХ ШАХТНОГО ТИПА

При разработке систем управления металлургическими процессами все чаще используют специальные методы теории управления, к которым относятся методы оптимального, нейро-нечеткого и адаптивного управления. Прежде всего, это связано с повышением сложности задач, предъявляемых в процессе управления. Однако нельзя четко утверждать, что применение подобных методов обеспечит положительные результаты для тех или иных металлургических процессов. В данной статье рассмотрена возможность применения нейронных сетей при усовершенствовании системы управления процессом шахтного обжига известняка, описаны схема нейросетевого управления и основные этапы ее построения.

***Ключевые слова*:** шахтная печь, система управления, нейронная сеть.

ADVANCE OF THE METALLURGICAL LIMESTONE SHAFT KILNING PROCESS CONTROL SYSTEM

Today at management system engineering by metallurgical processes used to special methods of the control theory such as optimal, neuro-fuzzy and adaptive methods. First of all, it is connected with increase of problems complexity maintained in control process. In article possibility of application of neural networks is considered at improvement of a control system by process of mine roasting of limestone, are described the neural network scheme controls and the basic stages of its construction.

***Key words*:** shaft kiln, control system, neural network.

Шахтная печь относится к классу сложных объектов управления с характерными для него нелинейностью, неоднозначностью, нестационарностью характеристик, большими транспортными и переходными запаздываниями, многосвязанностями каналов управления, высоким уровнем контролируемых и неконтролируемых возмущений, неполным контролем параметров и др.

Сегодня управление шахтной печью ведут по классической схеме [1]. Она включает технологический объект, блок первичной переработки данных, блок ввода / вывода данных, на который приходит задание, и блок реализации алгоритмов ПИД-регулирования, где на основе показаний единичного датчика формируется управляющее воздействие на исполнительный механизм.

Такая традиционная система управления хорошо справляется с классическими задачами управления, такими, например, как стабилизация заданных параметров процесса и поддержание безопасного режима функционирования технологических процессов. Однако в условиях рыночной конкуренции предприятия вынуждены ставить более сложные задачи, которые такие системы достаточно эффективно решать уже не могут.

В рамках данной работы предлагается перейти к новой схеме управления. В суще-

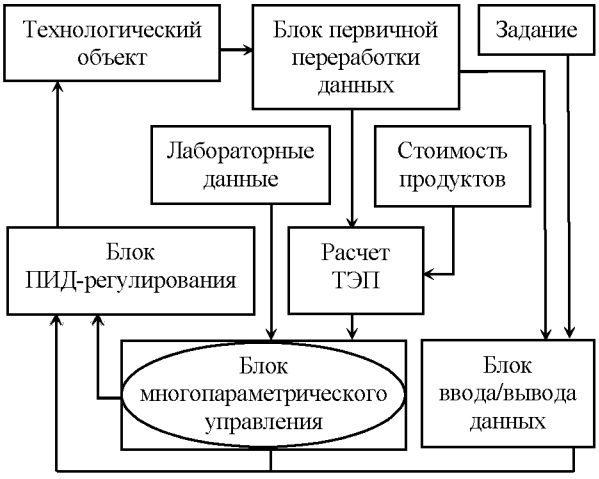


Рис.1. Усовершенствованная схема системы управления процессом шахтного обжига металлургического известняка
ТЭП – технико-экономические показатели

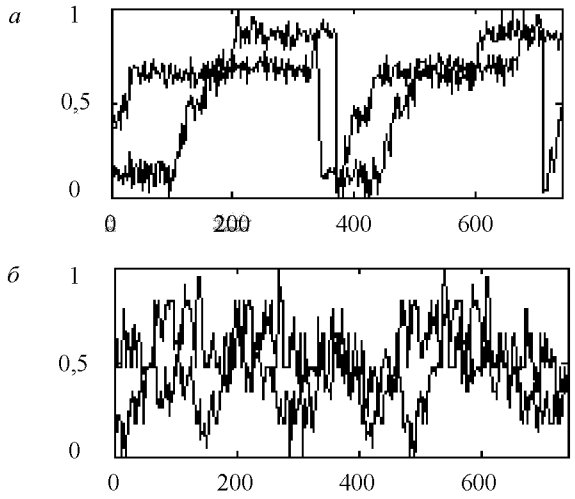


Рис.2. Обучающие (*а*) и тестовые (*б*) выборки входных сигналов в нормализованном виде

ствующую классическую схему добавится блок многопараметрического управления, который позволит вести управление сразу по нескольким входным и выходным параметрам. Схема такой системы представлена на рис.1. И если при классической схеме управления, описанной выше, большинство функций по управлению объектом были возложены на оператора, то в модернизированной схеме бóльшую часть функций управления заберет блок многопараметрического управления, уменьшив тем самым влияние оператора на ход процесса. Причем то, что предложенная схема будет лишь расширением существующей, позволит предприятию сэкономить значительную часть средств.

В теории автоматического управления существует несколько различных методов, с помощью которых можно реализовать многопараметрическое управление [3]. Однако наиболее подходящими являются нейросетевые методы. Нейронные сети обладают важными свойствами (обучение, обобщение, абстрагирование и др.), которые дают нейросетевым методам управления целый ряд преимуществ [4]. Благодаря этим свойствам нейронные сети позволяют воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. При этом от разработчика, конечно, требуется какой-то набор эвристических знаний о том, как следует отбирать и подготавливать данные, выбирать нужную архитектуру сети и интерпретировать результаты, однако уровень знаний, необходимый для успешного применения нейронных сетей при многопараметрическом управлении процессом шахтного обжига известняка, гораздо скромнее, чем при использовании других специальных методов теории управления.

Продемонстрируем возможности нейронных сетей на примере решения задачи аппроксимации (воспроизведения одного выходного параметра по двум входным). Для этого возьмем данные оперативного контроля по работе печи. В качестве входных параметров выберем расход материала и расход воздуха, подаваемого к горелкам, в качестве выходного параметра – температуру в зоне обжига печи. Для создания нейронной сети необходимо из этих данных сформировать две выборки – обучающую и тестовую. На первой выборке будет производиться обучение нейронной сети, а с помощью второй полученная сеть будет тестироваться на адекватность (рис.2).

Схема построения сети для решения данной задачи будет состоять из четырех этапов [3]: предварительная обработка данных, выбор структуры сети, оптимизация параметров сети и принятие решения об адекватности полученной нейросетевой модели.

Наиболее важным этапом является этап предобработки данных. От него зависит ка-

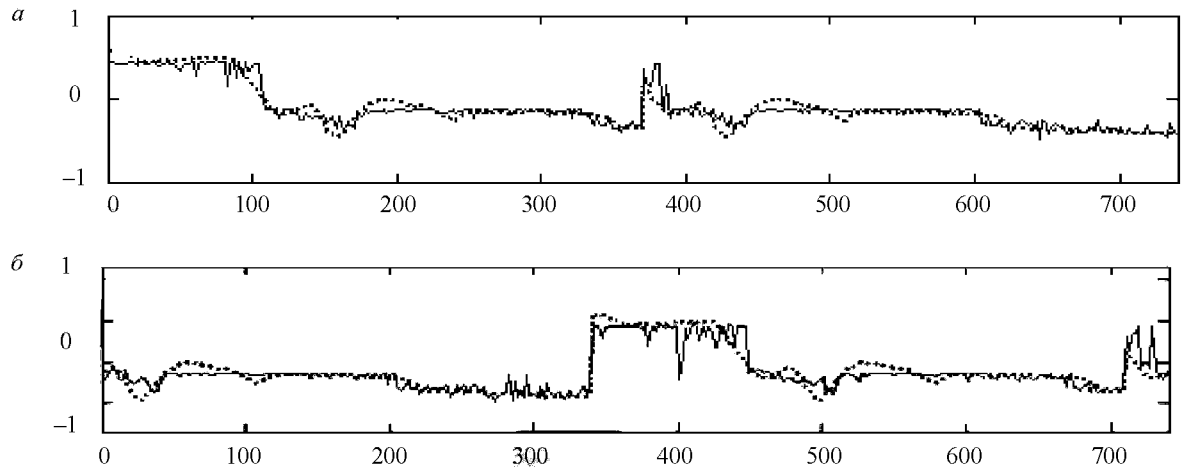


Рис.3. Отклик обученной нейронной сети на обучающую (*а*) и тестовую (*б*) выборку входного сигнала

чество решения поставленных нейронной сети задач, а также время ее обучения. На сегодняшний день существует несколько способов предобработки данных, однако нельзя определенно сказать, для каких задач предпочтительно использовать те или иные способы. Опытным путем было выявлено, что для поставленной задачи на основании имеющихся данных целесообразно использовать два метода обработки данных – масштабирование и повышение различимости. Причем если масштабирование является высокоупотребляемым методом предобработки при решении различных задач с помощью нейронных сетей и встречается практически во всех работах, посвященных нейронным сетям, в частности в работах [2-4], то метод повышения различимости не является популярным методом предобработки данных для нейронных сетей. Данный метод был предложен прежде всего для решения финансовых задач [2], однако показал хорошие результаты и при обработке данных рассматриваемого процесса.

Вторым достаточно сложным этапом при построении нейронных сетей является выбор структуры нейронной сети. Этот этап предполагает выбор количества слоев сети и нейронов в каждом слое, а также определение необходимых связей между слоями.

И если подбор количества нейронов во входном и выходном слоях сети достаточно прост (подбор количества нейронов во входном слое обусловлен размером входного вектора, а в выходном слое количество нейронов принимается равным размеру ожидаемого (выходного) вектора), то подбор количества скрытых слоев и числа нейронов в каждом из них остается серьезной проблемой.

Возможность ограничения максимального количества скрытых слоев и нейронов в них следует из теории Колмогорова [4]. Если ограничиться непрерывной функцией, трансформирующей N-мерное множество входных данных x в M-мерный выходной вектор d, то можно доказать, что аппроксимация такого типа осуществима при использовании сети с одним скрытым слоем. При N входных нейронах будет достаточно использовать для реализации этой функции скрытый слой с $(2N + 1)$ нейроном.

В связи с этим для решения данной задачи была выбрана нейронная сеть с тремя скрытыми слоями, с четырьмя нейронами в первом скрытом слое, с шестью во втором и с одним в третьем. Для обучения нейронной сети был выбран алгоритм обратного распространения ошибки.

Результаты моделирования обученной нейронной сети (в масштабированном виде) показывают, что коэффициенты корреляции в случаях, представленных на рис.3, *а*, *б*, достаточно высоки (в первом случае 0,92 и во втором 0,89), что дает право сделать вывод об успешном решении поставленной задачи.

Получив положительные результаты при решении поставленной задачи, можно говорить о целесообразности применения нейронных сетей при решении подобных и более сложных задач, связанных с управлением процессом шахтного обжига известняка. Кроме того, поскольку применение нейронной сети позволило решить данную задачу значительно быстрее и проще традиционных методов, можно говорить об успешной интеграции подобных алгоритмов в различные схемы управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Власов К.П.* Теория автоматического управления: Учеб. пособие. Харьков: Гуманитарный центр, 2006. 525 с.

2. *Крисилов В.А.* Представление исходных данных в задачах нейросетевого прогнозирования / В.А.Крисилов, К.В.Чумичкин, А.В.Кондратюк // Сб. научных трудов: В 2 частях / МИФИ. М., 2003. Ч.1. С.184-191.

3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д.Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. 744 с.

4. *Хайкин С.* Нейронные сети: Полный курс: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. 1104 с.

REFERENCES

1. *Vlasov K.* Automatic control theory: Tutorial. Kharkov: Humanist centre, 2006. 525 p.

2. *Krissilov V.*, *Chumichkin K.*, *Kondratuk A.* Input data representation in time series neural based forecasting // Bipartite Scientific collected papers / NIFI. Moscow, 2003. Part 1. P.184-191.

3. Robust neuro-fuzzy and adaptive control methods: tutorial / Edited by N.Egupov. Moscow: MGTY, 2002. 744 p.

4. *Haykin S.* Neural networks. A Comperehensive Foundation. Moscow: Vil'ams, 2008. 1104 p.

Научный руководитель д-р техн. наук, профессор *И.Н.Белоглазов*