

*А.Е.ГОЛОСКОКОВ*, профессор НТУ «ХПИ»,  
*А.В.РУДНИЦКИЙ*, аспирант НТУ «ХПИ»

## **ЗАДАЧИ ПРОЦЕССА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ И ВАКУУМОМ ПЕЧИ ПРОКАТНОГО СТАНА**

В статті наведена необхідність застосування інтелектуальної системи управління в процесі управління нагрівом та вакуумом в печі прокатного стану. Наведено опис печі. Описані задачі інтелектуального управління печі стану. Для реалізації системи управління вибрані нейромереживі системи управління. Описано продовження роботи.

В статье приведена необходимость применения интеллектуальной системы управления в процессе управления нагревом и вакуумом в печи прокатного стану. Приведено описание печи. Описаны задачи интеллектуально управления печи стану. Для реализации системы управления выбраны нейросетевые системы управления. Описано продолжение работы.

Necessity of using an intelligent control system into the heating and vacuum control in the rolling mill kiln has been proposed in the article. The kiln description has been circumscribed. Intelligent control objectives in the kiln are described. A neuronal net control system has been chosen as implementation. Next steps in the work have been described.

**Введение и актуальность.** В современных условиях использование систем управления является неотъемлемой частью любого технологического процесса. Особенно это касается сложных энергоемких производств с большим объемом выпуска продукции, примером которых есть горячая прокатка в вакууме. Основой таких процессов, как правило, выступают тепловые процессы, которые и формируют основные затраты и показатели качества продукции и происходят в печах нагрева.

**Обзор литературных источников.** В ходе разработки интеллектуальной системы управления прокатным станом [1,2] выявлена необходимость интеллектуализации процесса управления температурой и вакуумом печи прокатного стану. Также в результате выполнении работ [1,2] были сделаны такие выводы:

Согласно результатам исследований, проведенных при выполнении дипломной работы, можно сделать такие выводы:

- на практике объекты управления, которые плохо формализуются, свойства которых априори плохо известны или изменяются в процессе функционирования, являются типичными. Стан горячей прокатки пакетов металлических пластин относится к данной категории объектов;
- существенным образом повысить эффективность управления систем управления в металлургической промышленности может интеллектуализация управления;

- примеры, имеющиеся в литературе, указывают на некоторые неточности и невозможности применения технологий интеллектуализации систем управления в промышленности, что дает повод к более тщательному выбору этих технологий.

Актуальность выявленной необходимости также свидетельствует и результаты изучения периодической литературы, такой как «Промышленные АСУ и контроллеры», “Control Magazine” и другие [3-5]. В этих изданиях особое внимание отводится проблемам интеллектуального управления, т.к. как показывает практика системы управления, основанные на традиционном подходе, не обеспечивают требуемого качества.

**Задачи управления.** Основная задача прокатного производства состоит в обеспечении требуемого качества проката, т. е. в обеспечении соответствия геометрических размеров, формы, физико-механических свойств и состояния поверхности проката заданным требованиям. Технологический процесс производства проката включает следующие основные технологические операции: подготовка металла к прокатке; нагрев металла перед прокаткой (при горячей прокатке); прокатка металла; отделка проката. Процесс производства проката может осуществляться в несколько стадий, каждая из которых включает операции подготовки, нагрева и прокатки металла.

Прокатка металла является основной технологической операцией процесса производства проката. Однако технологическая операция нагрева металла перед прокаткой играет важную роль в производстве, т.к. именно эта операция обеспечивает возможность осуществления прокатки и получение требуемого качества проката.

Приведем краткое описание печи прокатного стана и нагревательного элемента печи. В качестве нагревателя заготовки применен нагреватель резистивного типа из молибденовой проволоки, уложенный на керамический короб. В качестве теплоизоляции применены корундовые плиты. Поддон печи, по которому перемещается заготовка, изготовлен из вольфрамовых прутков, размещенных в кассете. Цилиндрический корпус вакуумной печи изготавливается из нержавеющей стали, с рубашкой водяного охлаждения. На корпусе вакуумной печи установлены аварийный клапан для предотвращения взрыва при попадании воды на печь, а также клапан для подсоединения к вентиляции. Вакуум в камере печи достигается с помощью диффузионного насоса и сообщается с камерой печи через вакуумный затвор. Корпус печи размещен на подвижной раме, имеющей платформу, на которой смонтирован на виброизоляции прокладке форвакуумный насос.

На корпусе камеры печи размещена рукоятка перемещения шторок печи с путевыми выключателями, датчики вакуума, тоководы и гермоводы для термопар. С торцов камера закрыта двумя крышками, установленными на петлях. Вакуумная печь смонтирована на подвижной платформе, позволяющей производить откат вакуумной печи при проведении ремонтных работ рабочей клетки. Между вакуумной печью и рабочей клетью установлен

вакуумный затвор, позволяющий без нарушения вакуума в печи производить наладочные или ремонтные работы в других камерах прокатного стана.

Существующая система управления нагревом печи в прокатном стане реализованная на основе ПИД - регулятора обладает рядом недостатков, что и является причиной поиска наиболее подходящей технологией управления. Изучение проблемы выявило такие особенности, которые необходимо учитывать при разработке и реализации системы управления, а также непосредственно при самом управлении:

- большие затраты энергии,
- высокие требования для поддержания пространственно-временных температурных режимов,
- сильные взаимосвязи между изменением состояния в других агрегатах прокатного стана,
- инерционность,
- высокая вероятность и регулярность выхода из строя нагревательных элементов в процессе эксплуатации печи,
- различный состав материала (заготовки), подвергающегося нагреву,
- специфичность нагревательного элемента печи.

Требования, предъявляемые к системам управления показателями процесса прокатки, в свою очередь, обуславливают определенные требования к технологическому процессу прокатки и технологическому оборудованию. Требования к технологическому процессу включают, прежде всего, допустимые пределы изменения показателей качества исходной заготовки, а также энергоносителей и других материалов, используемых в процессе прокатки. Общими требованиями к технологическому оборудованию являются достаточная мощность, быстродействие и надежность, а также возможность установки, эксплуатации и обслуживания технических средств автоматизации.

Автоматизированное управление показателями процесса прокатки обеспечивает увеличение доли проката высших категорий качества по геометрии и механическим свойствам способствует расширению сортамента проката, создавая условия для производства таких видов проката выпуск которых при ручном управлении процессом прокатки невозможен. Достижимое при автоматическом управлении процессом прокатки повышение скорости темпа прокатки, сокращение времени настройки и перестройки стана, а также сокращение времени простоев вызванных нарушениями технологического процесса повышает производительность прокатных станов.

Автоматизированное управление процессом прокатки обеспечивает снижение расхода металла за счет уменьшения доли брака по геометрии и механическим свойствам и в результате нарушения технологического процесса, более эффективного раскроя проката, а также при сдаче проката по

теоретической массе. При автоматизированном управлении в процессе прокатки сокращается расход электроэнергии и топлива. Автоматизированное управление процессом прокатки существенно облегчает условия труда оперативного персонала прокатных станов и повышает его производительность.

Во многих реальных системах, таких как системы управления шахтной печью, дуговой электроплавкой, методической или нагревательной печью и т. д., имеются нелинейные характеристики, сложные для моделирования динамические элементы, неконтролируемые шумы и помехи, множество обратных связей и другие факторы, затрудняющие реализацию управления. Поэтому математическая модель таких сложных объектов не может отражать в полной мере ее действительные физические свойства. Даже если удастся построить такие сложные математические модели, как, например, шахтной печи, более-менее точно отражающие физические соотношения между входами и выходами системы, они могут оказаться бесполезными для целей управления. Практически приемлемыми могут быть только модели с низкой чувствительной частью по параметрам. Обеспечить это для нелинейных систем достаточно сложно. Кроме того, уменьшение чувствительности ведет к снижению точности регулирования. В трактовке Л. Заде это звучит так: «по мере того, как сложность возрастает, точные утверждения теряют значимость, а значимые утверждения теряют точность» [6].

#### **Методы решения.**

Описанные выше трудности приводят к тому, что применение традиционного подхода, основанного на дифференциальных уравнениях, к построению системы управления является довольно сложным, нерациональным, дорогостоящим, а чаще всего нереализуемым. Наиболее оправдан подход к синтезу оптимальных законов и алгоритмов как прототипов для обучаемых в составе динамической системы нейросетей на основе содержательной с точки зрения целей управления макроинформации. В качестве такой макроинформации возможно использование агрегированных макропеременных, т.е. специально формируемые функции первичных измерительных данных в системе управления. По существу это приводит к управлению в функциональном, пространстве, характеризующем макродинамику системы. Такой подход позволяет «конструировать» оптимальные законы управления движением изображающей точки в фазовом пространстве нелинейных систем (как и предполагалось в [7]) и обосновать условия существования устойчивых управляемых движений в нем, другими словами, показать разрешимость задачи управления. Нейронная сеть при обучении с использованием макропеременных формирует в силу условий единственности и разрешимости задачи управления, своей архитектуры и алгоритма обучения этот оптимальный закон, что делает ненужным вообще аналитическое «конструирование» с последующей программной реализацией конкретного оптимального закона. В этом состоит принципиальное отличие

нейросетевого управления от традиционного. Если и в традиционном управлении компьютерная программа реализует конкретный вычислительный алгоритм, то в нейросетевых системах одна и та же сеть может реализовать множество алгоритмов, если знать, как ее этому обучить, и в реальном времени. Эти идеи структурного и алгоритмического синтеза нейросетевых систем управления во многом используют концепции синергетической теории управления [8, 9] для синтеза алгоритмов обучения сети и управления объектами.

Теория и алгоритмы обучения многослойных нейронных сетей получили конкретное применение для синтеза нейросетевых систем управления с использованием прямых и инверсных моделей обучения. Весьма перспективным является применение этих сетей для построения новых классов нейросетевых систем на основе идей синергетической теории управления. Синергетика позволяет дать ясный ответ на методологический вопрос: почему достаточно простые законы физики отменно работают в окружающем нас весьма сложном мире и тем самым дают возможность вполне достоверно описать разнообразные явления? Дело в том, что в динамических природных системах, имеющих много степеней свободы, происходит самоорганизация. Ее суть состоит в том, что в физических (химических, биологических) процессах выделяются несколько главных степеней свободы, называемых параметрами порядка, к которым через некоторое время «подстраиваются» все остальные степени свободы сложной природной системы. Такое подстраивание можно трактовать как новый «принцип суперпозиции» для нелинейных систем как способ сборки сложных структур из простых частей. Обычно число параметров порядка невелико, что позволяет описать и исследовать сложную динамическую систему. В синергетической теории управления стратегия направленной самоорганизации состоит в формировании и поддержании внешне- и внутрисистемных динамических инвариантов. В зависимости от поставленных целей вводимые инварианты могут быть постоянными или изменяющимися, что означает соответственно стабилизацию динамического режима системы или переход ее в новое динамическое состояние. В первом случае системные инварианты реализуют «стабилизирующий», а во втором – «динамический» отборы. Другими словами, целенаправленное формирование динамических инвариантов позволяет осуществить направленную самоорганизацию систем. Обычно в нейросетевых динамических системах подобная целенаправленная самоорганизация осуществляется в процессе настройки (обучения) сети с использованием параметров порядка – макропеременных, синтезируемых на измеряемых переменных состоянии фазового состояния системы.

**Продолжение работы.** Следующими этапами предполагается постановка задачи на разработку интеллектуальной системы управления, разработка и реализация нейросетевой системы управления. В качестве проверки будут

анализироваться и сравниваться результаты функционирования интеллектуальной системы управления и традиционной системы управления на основе ПИД – регулятора. Для ПИД – регулятора будут разработаны математические модели на основе комбинированного метода: аналитически разработанная структура объекта, а ее параметры определены в ходе натуральных экспериментов. Будет произведено сравнение и выбор наиболее соответствующей задаче интеллектуальной технологии: нейросетевые технологии, нечеткая логика, нейросетевые технологии с нечеткой логикой, генетические алгоритмы и т.д. Моделирование и сравнение предполагается производить с помощью математического пакета MATLAB, в состав которого входит Simulink.

**Выводы.** В результате работы определена необходимость замены существующей системы управления нагревом печи на основе ПИД – регулятора. На основе обзора литературных источников и практического опыта предлагается использовать теорию нейросетевого управления в системе нагрева печи. В работе описаны задачи и особенности управления нагревом печи в прокатном стане, а также характерные черты, которые делают нерациональным использование традиционного подхода в управлении нагревом печи. В качестве системы управления предложено использование нейросетевых систем управления на основе идей синергетической теории управления, что позволит «конструировать» оптимальные законы управления движением изображающей точки в фазовом пространстве нелинейных систем.

**Список литературы:** 1. *Голоскоков А.Е., Рудницкий А.В.* Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2005. – №59 – С. 37-42. 2. *Голоскоков А.Е., Рудницкий А.В., Борц Б.В.* Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2006. – №19 – С. 17-24. 3. *Кудинов Ю.И., Халов Е.А. и др.* Разработка нечеткой обучаемой системы управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 2. С. 25 – 29. 4. *Ротач В.Я.* Возможен ли синтез нечетких регуляторов с помощью нечетких множеств? // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 1. С. 33 – 34. 5. *Прасов М.Т., Анохин М.Н.* Алгоритм дефазсификации при синтезе нечеткого регулятора автоматизированных систем контроля и управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2006. № 6. С. 41 – 42. 6. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Под. Ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Орловского. – М.: Мир, 1976. 7. *Рябинин А.Д., Шквар А.М.* Некоторые принципы функционального построения инвариантных бионических систем управления. Тр. 4-го Всесоюз. Совещ. «Теория инвариантности и теория чувствительности автоматических систем». Ч. II. 26-30 апреля 1971. – Киев, 1971 С. 54-64. 8. *Колесников А.А.* Основы синергетического управления. – М.: Энергоатомиздат, 1994. 9. *Колесников А.А.* Основы теории синергетического управления. Сер. Книга специалиста по автоматизации производства / Под. общ. Ред. А.С. Клюева – М.: фирма «Испо-сервис», 2000.

*Поступила в редколлегия 15.11.07*