

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОГО ПРОФИЛЯ

Жуков С. Ф.¹, Важинский А. И., Коробкин О. С.²

¹Харьковский национальный технический университет "ХПИ",
²ЧАО МК "АЗОВСТАЛЬ"

Проведено исследование элементов электрооборудования комплекса, обеспечивающего термическую обработку продукции металлургического процесса. Выполнено математическое моделирование, произведен анализ передаточных функций системы, определены критерии производительности комплекса. Использование современной техники для реализации методов оптимизации позволили реализовать предиктивную модель распределения температурного поля при охлаждении и нагреве заготовки.

Постановка проблемы. Важнейшим направлением производства рельсов является повышение их качества и долговечности, что связано с тенденцией повышения грузонапряженности на железнодорожном транспорте и растущей конкуренцией на мировом рынке [1, 2]. В связи с этим исследования, направленные на повышение качества рельсов, а также сокращение затрат на их производство являются важными и актуальными. Существующая система управления электрическим оборудованием комплекса термической закалки имеет ряд существенных недостатков, главным из которых является моральное и физическое устаревание элементной базы, что приводит к невозможности реализовать эффективные методы управления.

Анализ последних достижений и публикаций. При автоматической настройке и адаптации используются те же методы идентификации и расчета параметров регулятора, что и в ручном режиме, однако автоматизация этих процессов существенно повышает качество регулирования. Наиболее эффективными являются методы настройки с применением микропроцессорной техники, включенной в контур регулирования. В [3, 4] рассмотрена идентификация в замкнутом контуре для регулятора с встроенной моделью, с применением итерационных методов; в [5, 6] использован генетический алгоритм. Применение методик требует запоминания и исследования истории протекания процесса в системе. Основным недостатком нечетких, нейросетевых, генетических алгоритмов является сложность их настройки. Настройка таких систем основывается на составлении базы нечетких правил и обучения нейронной сети. Регуляторы с внутренней моделью и методика их настройки рассмотрены в [7], приведено сравнение характеристик регуляторов, рассмотрены случаи влияния запаздывания в измерительном канале системы управления. Использование предиктора Смита для интегрирующих процессов предложено в работе [8].

Цель статьи. Для обеспечения устойчивой работы системы автоматического управления с удовлетворительными показателями качества требуется рассчитать оптимальные значения параметров регулирующего устройства. Для этого, в первую очередь, необходимо определить статические и динамические характеристики объекта управления, максимально точно описать его математически.

Основные материалы исследования. Процесс поверхностной закалки головки рельса с использованием метода нагрева токами высокой частоты относится к сложному технологическому производственному процессу, в связи с тем, что нагрев и охлаждение осуществляется при движении рельса через закалочную установку за короткий промежуток времени.

Конструктивно рельсозакалочная машина включает: секцию задающих роликов, зону нагрева токами высокой частоты, зону первичного охлаждения (закалки), зону самоотпуска, секцию удержания кривизны и секцию выдающих роликов.

Исходными данными математического описания процесса управления распределением температурного поля по поверхности металла являются графики температуры, изображенные на рис. 1.

Суммарная подводимая мощность трех секций $P_{3c} \approx 1103,7 \text{ кВт}$ (73,6% от максимальной мощности), $P_{1c} \approx 364,5 \text{ кВт}$ (72,9%), $P_{2c} \approx 354,5 \text{ кВт}$ (70,9%), $P_{3c} \approx 368 \text{ кВт}$ (77%). Скорость перемещения рельса $V = 42,5 \text{ мм/с}$.

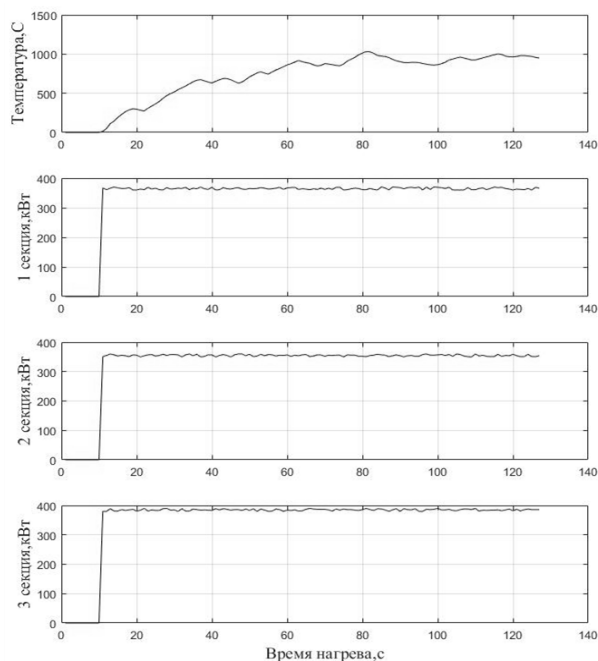


Рисунок 1 - Мощность индукторов и температура поверхности

Выразим суммарную мощность и температуру в процентах, верхний предел измерения температуры – 1200 С°, суммарная выходная мощность индукторов – 1500 кВт (3×500). Результаты представлены на рис. 2.

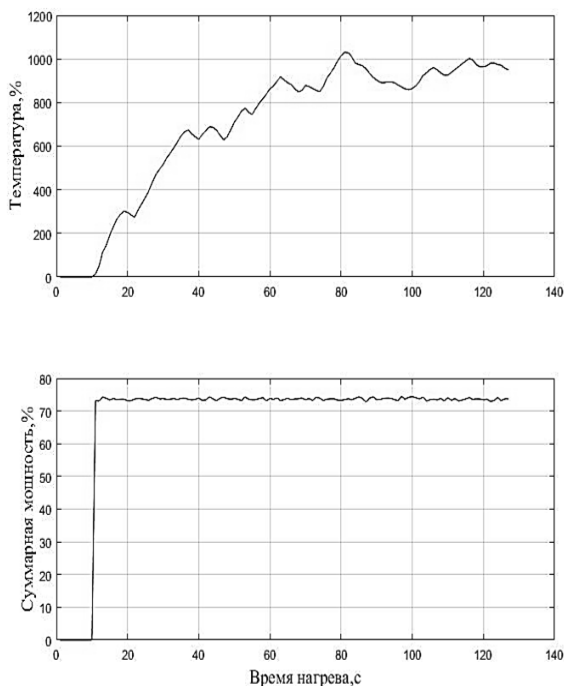


Рисунок 2 - Температура поверхности рельса и мощность, подводимая к индукторам

В результате идентификации получены следующие результаты. Передаточная функция, аperiodическое звено 1 порядка

$$W(p) = \frac{1,1025}{1+25,883p}. \quad (1)$$

Передаточная функция, аperiodическое звено 2 порядка

$$W(p) = \frac{1,1108e^{0,066p}}{(1+27,494p)(1+0,13625p)}. \quad (2)$$

Критерием точности модели служит коэффициент взаимной корреляции

$$R_{12} = \frac{r_{12}}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} x_1^2(n) \sum_{n=0}^{N-1} x_2^2(n)}} = 0,86, \quad (3)$$

где $r_{12} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)x_2(n)$ – взаимная корреляция;
 $x_1(n), x_2(n)$ – массивы полученных переходных характеристик.

Выбираем параметры модели, соответствующие минимальному интегралу квадрата ошибки моделирования:

$$J_{min} = \int_0^T [X_{\text{вых.эксп}}(t) - X_{\text{вых.мод.}}(t)]^2 dt = 13,99 \quad (4)$$

Определим индекс детерминации $\rho_{x_1x_2}^2 = 0,86^2 = 0,74$

Графики реакции объекта управления на ступенчатое воздействие представлены на рис. 3.

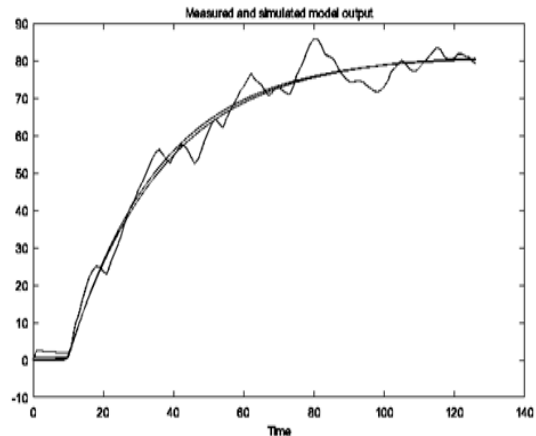


Рисунок 3 - Сравнительный анализ передаточных функций

Используя пакет Matlab Simulink, представим упрощенную модель управления мощностью индуктора по данным температуры поверхности рельса (рис. 4). Для автоматической настройки ПИ-регулятора воспользуемся функцией PID Tuner. В результате получена следующая передаточная функция регулятора

$$W(p) = 9,2958 + \frac{1}{0,3591p}. \quad (5)$$

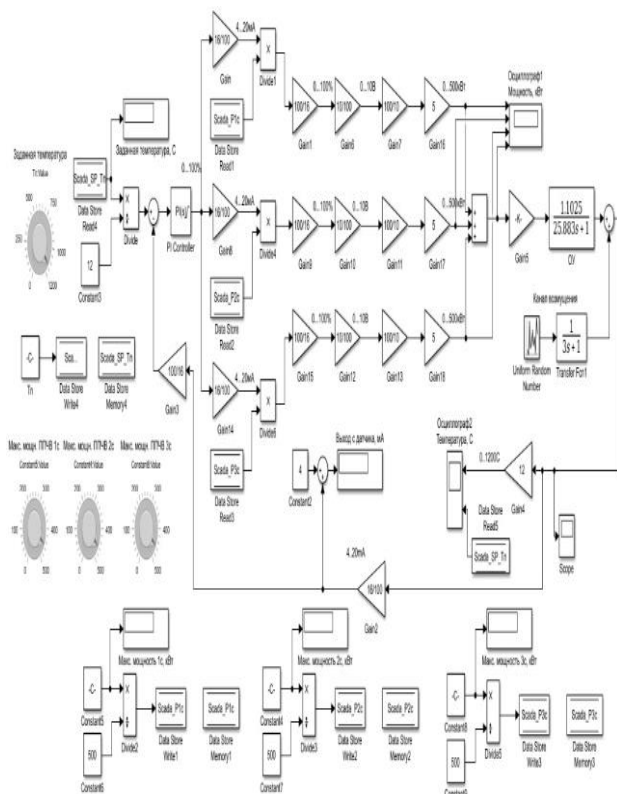


Рисунок 4 - Модель системы управления индукционным нагревом

Дополнительно воспользуемся инструментом оптимизации настроек регулятора по заданной форме переходного процесса. Для решения задачи оптимизации добавим в модель блок Check Step Response Characteristics. В результате проведенного моделирования были получены оптимальные настройки ПИ-регулятора

$$W(p) = 12,386 + \frac{1}{1.0316p}. \quad (6)$$

Окончательно принимаем эти настройки. На рис. 8 показан переходный процесс при оптимизированных настройках.

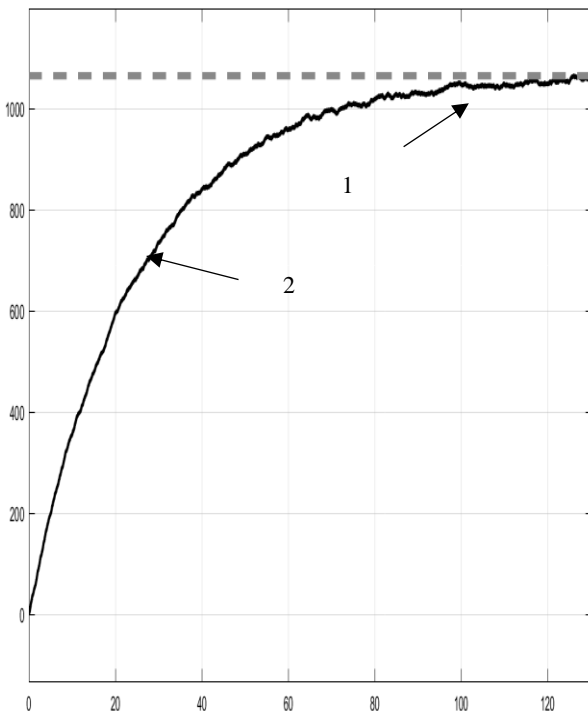


Рисунок 8 - Переходный процесс, график температуры: 1 – задание (SP), 2 – текущая температура нагрева

Выводы. Включение в модель управления генераторами токов высокой частоты аналитического описания системы позволяет учесть влияние изменение температурного поля головки рельса при термической обработке и повысить качественные показатели готовой продукции.

Исследование переходных процессов в системе подтвердило эффективность применения усовершенствованной модели управления магнитным полем закалочных индукторов.

Повышение управляемости стало возможным благодаря применению алгоритма адаптации настроек регулятора.

Дальнейшим направлением исследования является сбор информации и углублённое математическое описание основных электротехнических комплексов металлургического производства с целью совершенствования технологических процессов и повышения качества регулирования в системах управления.

Список источников

1. Скобло Т. С. Качество термически упрочненных рельсов и подкладок. Исследования. Теория. Оборудование. Технология. Эксплуатация: Монография / Т. С. Скобло, В. Е. Сапожков, Н. М. Александрова, А. И. Сидашенко. – Х.: ТОВ "Щедра садиба плюс" 2014. – 577с.

2. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под.ред.Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. – Машиностроение, 1980г. – 783с.

3. Karakawa K., Abe N., Ichihara H. Joint design method of closed-loop identification and IMC structure for temperature control system with time delay // SICE 2002. Proceedings of the 41st SICE Annual Conference. 5-7 Aug. 2002. Vol. 3. P. 1592 – 1595.

4. Бажанов В. П. Настройка ПИД-регуляторов с помощью метода масштабирования на объектах управления с запаздыванием и на объектах высокого порядка / В. П. Бажанов, А. В. Кузьмин, Н. В. Кузьмин. // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 2. – С. 15 – 20.

5. Shigemasa T., Yukitomo M., Kuwata R. A model-driven PID control system and its case studies // Proceedings of the 2002 International Conference on Control Applications. 2002. Vol. 1. P. 571 – 576.

6. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID-control. – ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society), 2006.

7. Pereira D.S., Pinto J.O.P. Genetic algorithm based system identification and PID tuning for optimum adaptive control // Advanced Intelligent Mechatronics. Proceedings. 2005 IEEE / ASME International Conference on. 2005. P. 801 – 806.

8. Гриценко А. В. Улучшение качества алгоритма управления "Предиктор Смита" посредством автоматического вычисления времени запаздывания / А. В. Гриценко // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. - №12. – С. 32 – 37.

Анотація

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ РЕЙКОВОГО ПРОФІЛЮ

Жуков С. Ф., Вазинський А. И., Коробкін О. С.

Проведено дослідження елементів електрообладнання комплексу, що забезпечує термічну обробку продукції металургійного процесу. Виконано математичне моделювання, проведений аналіз передавальних функцій системи, визначено критерії продуктивності комплексу. Використання сучасної техніки для реалізації методів оптимізації дозволили реалізувати інтелектуальну модель розподілу температурного поля при охолодженні і нагріванні заготовки.

Abstract

MODELING OF PROCESS AND RAIL HEAT TREATMENT AUTOMATIZATION.

S. Zhukov, A. Vazhinsky, O. Korobkin

Investigation of elements of the electric equipment complex of rail heat treatment, which provides treatment materials for metallurgical process was carried out. Mathematical modeling is carried out, the analysis of the transfer functions of the system is made, the criteria established performance and diagnostic parameters of the object are defined. Optimization methods were applied with the new engineering, so we could implement model predicts temperature field during cooling and heating.