

Карпов Николай Александрович

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ МЕТАЛЛА

В статье рассматриваются вопросы моделирования и управления процессом индукционной плавки металла. Представлена компьютерная модель индукционной печи. Исследовано влияние возбуждения частоты индуктора на температуру в слое металла. Рассмотрена целесообразность и возможность использования для управления процессом теории нейросетей.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2012/12-2/12.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2012. № 12 (67): в 2-х ч. Ч. II. С. 55-58. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2012/12-2/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

4. **Захаров В. К., Половинкин Е. С., Яшин А. Д.** Математическая модель государства // Доклады академии наук. 2007. Т. 413. № 2. С. 158-162.
5. **Иванов Г. Е., Половинкин Е. С.** Второй порядок сходимости алгоритма вычисления цены линейных дифференциальных игр // Доклады академии наук. 1995. Т. 340. № 2. С. 151-154.
6. **Иванов Г. Е., Половинкин Е. С.** О сильно выпуклых линейных дифференциальных играх // Дифференциальные уравнения. 1995. Т. 31. № 10. С. 1641-1648.
7. **Ипатов Д. Е.** Численная реализация трехмерной модели гидротермодинамики океана с условием свободной поверхности на верхней границе области // Труды математического центра имени Н. И. Лобачевского. Казань, 2011. Т. 43. С. 163-165.
8. **Ипатова В. М.** Задача инициализации для модели общей циркуляции атмосферы // Труды МФТИ. 2012. Т. 4. № 2. С. 121-130.
9. **Ипатова В. М.** Сходимость численных решений задачи вариационного усвоения данных альтиметрии в квазигеострофической модели циркуляции океана // Дифференциальные уравнения. 1998. Т. 34. № 3. С. 411-418.
10. **Ипатова В. М., Ипатов Д. Е.** Решение задач об определении коэффициентов для трехмерной модели гидротермодинамики океана // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2011. № 9. С. 25-29.
11. **Ипатова В. М., Ипатов Д. Е.** Решение задачи ассимиляции данных для модели поперечного обтекания бесконечного цилиндра // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2012. № 4. С. 111-113.
12. **Марчук Г. И., Агошков В. И., Ипатова В. М.** Теория разрешимости начально-краевых задач и задач ассимиляции данных для основных уравнений океана // Труды МФТИ. 2011. Т. 3. № 1. С. 93-101.
13. **Половинкин Е. С.** Интегрирование по Риману многозначных отображений // Труды МФТИ. 2011. Т. 3. № 1. С. 117-126.
14. **Половинкин Е. С.** Сильно выпуклый анализ // Математический сборник. 1996. Т. 187. № 2. С. 103-130.
15. **Половинкин Е. С.** Теорема существования решений дифференциального включения с псевдо-липшицевой правой частью // Нелинейный мир. 2012. Т. 10. № 9. С. 571-578.
16. **Половинкин Е. С.** Элементы теории многозначных отображений. М.: МФТИ, 1982. 127 с.
17. **Половинкин Е. С., Иванов Г. Е., Балашов М. В., Константинов Р. В., Хорев А. В.** Алгоритмы численного решения линейных дифференциальных игр // Математический сборник. 2001. Т. 192. № 10. С. 95-122.
18. **Agoshkov V. I., Ipatova V. M.** Convergence of Solutions to the Problem of Data Assimilation for a Multilayer Quasigeostrophic Model of Ocean Dynamics // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2010. Vol. 25. № 2. P. 105-115.
19. **Agoshkov V. I., Ipatova V. M.** Existence Theorems for a Three-Dimensional Ocean Dynamics Model and a Data Assimilation Problem // Doklady Mathematics. 2007. Vol. 75. № 1. P. 28-30.
20. **Agoshkov V. I., Ipatova V. M.** Solvability of the Altimeter Data Assimilation Problem in the Quasi-Geostrophic Multilayer Model of Ocean Circulation // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 1997. Vol. 37. № 3. P. 355-366.
21. **Ipatova V. M.** Solvability of the Ocean Hydrothermodynamics Problem under a Nonlinear State Equation // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2008. Vol. 23. № 2. P. 185-196.
22. **Ipatova V. M.** Uniform Attractors of Finite-Difference Schemes for the Multilayer Quasigeostrophic Model of Ocean Dynamics // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2011. Vol. 26. № 2. P. 143-159.
23. **Ipatova V. M., Agoshkov V. I., Kobelkov G. M., Zalesny V. B.** Theory of Solvability of Boundary Value Problems and Data Assimilation Problems for Ocean Dynamics Equations // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2010. Vol. 25. № 6. P. 511-534.
24. **Polovinkin E. S., Smirnov G. V.** On One Approach to the Differentiation of Multivalued Mappings and Necessary Conditions for Optimality of Solutions to Differential Inclusions // Дифференциальные уравнения. 1986. Т. 22. № 6. С. 944-954.

УДК 681.5:621.77

Технические науки

В статье рассматриваются вопросы моделирования и управления процессом индукционной плавки металла. Представлена компьютерная модель индукционной печи. Исследовано влияние возбуждения частоты индуктора на температуру в слое металла. Рассмотрена целесообразность и возможность использования для управления процессом теории нейросетей.

Ключевые слова и фразы: индукционная плавка металла; автоматизация; моделирование; нейросеть; анализ.

Николай Александрович Карпов

Донецкий национальный технический университет, Украина

Wega44@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАВКИ МЕТАЛЛА[©]

Актуальность проблемы. Индукционные печи обладают рядом бесспорных преимуществ по сравнению с конкурентоспособными технологиями плавки металлов и составляют значительную часть от общего объема аналогичного оборудования. Затраты на электроэнергию составляют основную статью себестоимости продукции в электротехнологических комплексах плавки металла индукционным методом. Таким образом, большое значение приобретает проблема достижения предельных качественных показателей процессов

индукционного нагрева металлов путем оптимизации режимов работы и конструктивных характеристик нагревательных установок по основным критериям оптимальности, к которым, прежде всего, относятся критерии быстродействия и минимума расхода энергии. Указанная задача может быть решена на базе современной теории и методов оптимального управления системами с распределенными параметрами. Здесь получен целый ряд фундаментальных результатов, однако, поскольку общая теория оптимального управления системами с распределенными параметрами вынужденно оперирует абстрактными теоретическими схемами, в которые не вписываются специфические частные требования и многие принципиальные особенности конкретных прикладных задач, возникает явная необходимость разработки эффективных инженерных методик, позволяющих адаптировать общетеоретические результаты применительно к исследуемому классу процессов индукционного нагрева.

В настоящее время четкие инженерные методы и механизмы управления не выработаны, так как имеют место неопределенности взаимосвязей технологических параметров, прежде всего: массы расплава, требуемого количества электроэнергии и графика температурного режима плавки. К тому же, уникальность оборудования и процессов затрудняет проведение целенаправленных экспериментальных исследований картины данных взаимосвязей. В этих условиях для указанных объектов становится актуальной разработка математических моделей взаимосвязи тепловых и энергетических параметров с целью оптимизации процесса плавки и создания автоматизированной системы управления тепловым режимом плавки, обеспечивающей стабильность качества выплавленной стали при минимальных энергозатратах.

Особенности научной проблемы. Индукционный нагрев представляет собой довольно сложный процесс взаимодействия электромагнитных и тепловых явлений, трудно поддающийся точному математическому описанию [1]. Поэтому при аналитических расчетах обычно используют различные упрощенные математические модели, основанные на различных гипотезах. Кроме того, на практике температура T нагреваемого металла изменяется в довольно широких пределах, в результате чего его теплофизические характеристики претерпевают существенные изменения. Поэтому для описания процесса теплопроводности, строго говоря, нужно учитывать зависимость коэффициента теплопроводности от температуры, что неизбежно ведет к нелинейному уравнению. Учет всех этих фактов приводит к довольно сложной математической модели, из которой практически невозможно извлечь полезную информацию.

Чтобы упростить модель, тепловой процесс при плавке металла разделяют на этапы, для каждого из которых существуют свои физические свойства металла, которые на каждом этапе принимаются постоянными. Такие предположения позволяют использовать на каждом этапе линейное уравнение теплопроводности с постоянными коэффициентами. В частности, если нагреваемое изделие имеет форму сплошного цилиндра радиуса R с высотой, значительно превосходящей его диаметр, то с достаточной для практики точностью процесс теплопроводности на i -м этапе можно описать уравнением

$$\frac{\partial T}{\partial t} - a_i \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} - \frac{a_i}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{a_i}{\lambda_i} u, \quad 0 < r < R, \quad (1)$$

где a_i , λ_i - температуропроводность и теплопроводность изделия на i -м этапе, $u(t, r)$ - плотность внутренних тепловых источников.

При этом граничные условия берутся в виде

$$\frac{\partial T(t, R)}{\partial r} = h_i [T_R - T(t, R)], \quad (2)$$

$$\frac{\partial T(t, 0)}{\partial r} = 0, \quad (3)$$

где h_i - коэффициент теплообмена, а T_R - температура внешней среды.

Внутренние источники тепла создаются электромагнитным полем индуктора. Характеристики магнитного поля зависят от параметров тока, проходящего через катушку индуктора, и определяются с помощью уравнений Максвелла.

Таким образом, если параметрами управления выбрать силу тока и его частоту в индукторе, то управляемый процесс будет описываться совокупностью уравнений теплопроводности и Максвелла, и исследование задач оптимального управления даже в этом случае остается довольно сложным.

Решение задачи. Во многих случаях распределение плотности внутренних источников можно представить в виде

$$u = p(t)v(r) \quad (4)$$

Физически $p(t)$ представляет собой величину потока активной энергии, которая может быть выделена в виде тепла, а функция $v(r)$ показывает распределение плотности источников по пространственной координате. При этом

$$v(r) = \begin{cases} \frac{2868R(r-R+x)}{4R-x} n\pi i & R-x \leq r \leq R, \\ 0 & n\pi i \quad 0 \leq r \leq R-x. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь x - расстояние от поверхности цилиндра до того слоя металла, где плотность тока равна нулю,

$$x = 734 \sqrt{\frac{\rho}{f}}, \quad (6)$$

где ρ - удельное сопротивление металла, f - частота тока.

Таким образом, соотношения (5) и (6) указывают на явную зависимость распределения плотности источников от частоты тока в индукторе, что позволяет использовать выбранную математическую модель для исследования зависимости тепловых процессов в изделии от частоты тока f . Эта зависимость представляет интерес с точки зрения задач управления, когда в качестве управляющего параметра берется f . Поскольку величина потока $p(t)$ активной энергии не зависит от f , то ее можно рассматривать как другой управляющий параметр. В итоге получаем пару управляющих параметров f и p , с помощью которых можно по желанию изменять тепловой процесс при плавке металла.

На практике управление изменением частоты в большинстве случаев нецелесообразно, так как индуктор, как правило, является частью резонансного контура, и печь работает на частоте резонанса, определяемой её физическими параметрами. Однако данная частота зависит от количества и магнитных свойств расплавляемого металла.

Для исследования влияния частоты возмущения на динамику процесса плавки металла в среде *Simulink* пакета *MatLab* разработана имитационная модель индукционной печи (Рис. 1). С целью упрощения в модели случайным образом варьировался период колебаний n , обратно пропорциональный частоте.

Анализ результатов моделирования (Рис. 2) позволил сделать заключение, что отклонение рабочей частоты на 2% вызывает примерно такое же отклонение приращения температуры на глубине в $0,2R$ от внешнего радиуса R .

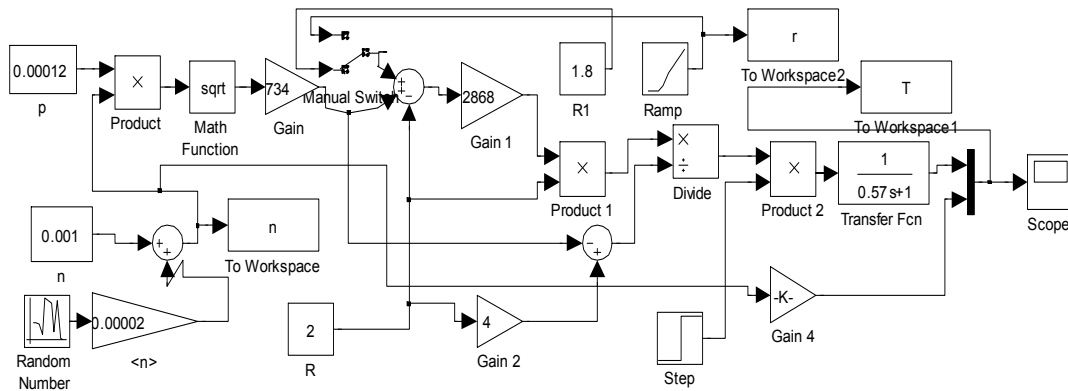


Рис. 1. Модель процесса индукционной плавки металла

Исследование распределения плотности источников по пространственной координате показало практически линейную зависимость температуры от плотности источника.

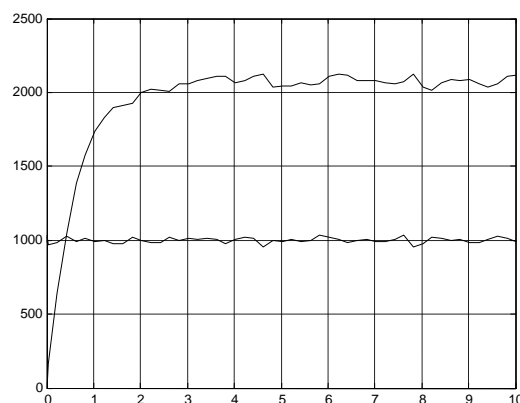


Рис. 2. Зависимость изменения температуры в слое металла от возмущения частоты индуктора

Выше отмечалось, что на динамику процесса плавки влияют несколько параметров, измерение которых затруднительно. Учёт данных зависимостей аналитическими методами также представляет достаточную сложность ввиду сложности математического описания процессов и основания его на гипотезах. Однако современные методы управления, например, такие как нейрорегулирование, позволяют организовать достаточно качественное управление технологическим процессом без наличия его детального аналитического описания. В связи с этим была исследована эффективность нейронной сети для идентификации параметров процесса индукционной плавки для последующего управления.

Моделирование проводилось в среде *MatLab*: входная матрица $P(21 \times 100)$, выходная матрица $E(3 \times 100)$, оператор создания сети $net=newff(minmax(y),[21,15,3],\{'logsig' 'logsig' 'purelin'\},'trainlm')$, анализа обучения $y=sim(net,P)$. Максимальное число итераций - 100. Точность идентификации задавалась в 1%.

График зависимости оценки функционирования от номера цикла обучения представлен на Рис. 3.

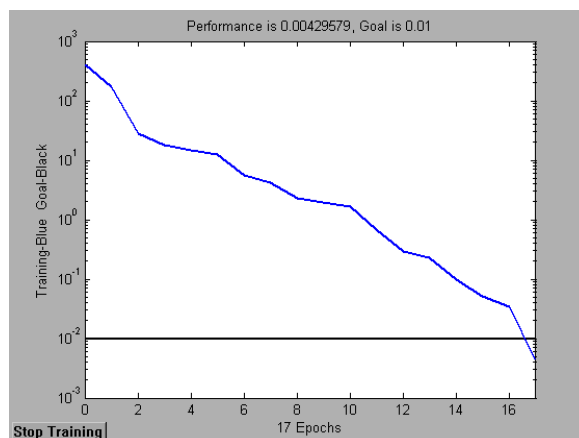


Рис. 3. График зависимости оценки функционирования нейросети от номера цикла обучения

Анализ результатов позволяет сделать заключение о том, что сеть обучилась для возможности функционирования с заданной точностью менее чем за 17 циклов обучения, что говорит о достаточной эффективности использования возможностей нейросетей для решения поставленной задачи.

Выводы

1. Результаты моделирования показали, что отклонение рабочей частоты индуктора на 2% вызывает примерно аналогичное отклонение приращения температуры.

2. Управление с помощью нейросетей позволяет организовать достаточно качественное управление технологическим процессом без наличия его детального аналитического описания.

Список литературы

1. Павлов Н. А., Слухоцкий А. Е. Расчёты распределения температуры стальных цилиндрических образцов при индукционном нагреве // Известия вузов. 1965. № 6.
2. Разживин А. В. Автоматизация процесса управления тепловым режимом плавки в электротехнических печах. Донецк, 2008. 225 с.
3. Шарапова О. Ю. Численное моделирование и оптимальное управление процессами индукционного нагрева цилиндрических заготовок под обработку давлением. Самара, 2011. 175 с.

УДК 338.45

Экономические науки

Статья посвящена вопросам повышения скорости процесса диффузии инноваций, разрабатываемых производственными предприятиями. Раскрыты основные факторы, ускоряющие и замедляющие этот процесс. Рассматривается возможность ускорения процесса диффузии инноваций, разрабатываемых производственными предприятиями, на основе грамотного менеджмента их показателей качества.

Ключевые слова и фразы: инновации; инновационный проект; диффузия; качество; показатели качества; условия эксплуатации.

Светлана Сергеевна Киндюкова

Кафедра «Финансовый менеджмент»

МАТИ - Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского

sskind@mail.ru

ЗАВИСИМОСТЬ ДИФфуЗИИ ИННОВАЦИЙ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НОВОГО ИЗДЕЛИЯ[©]

Условием развития и устойчивой жизнедеятельности любой организации является эффективность инвестиций в определенные инновационно-инвестиционные проекты, которые представляют собой систему взаимосвязанных целей и программ их достижения, а также комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, организационных, коммерческих и других мероприятий, ограниченных по ресурсам, срокам и исполнителям.

Каждый проект сопровождается необходимыми при этом инвестициями. Поскольку размер инвестиций всегда ограничен, то создание и реализация любого инновационно-инвестиционного проекта должны базироваться