

Обзор методов управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями

Ларькина Т. С. (Беларусь, г. Могилёв, МОУ ВО "Белорусско-Российский университет", e-mail: tatyana.larkina.2015@yandex.ru)

Аннотация. Представлен обзор методов управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями. Представлена общая блок-схема энергообмена рассматриваемой системы. Обобщены факторы, оказывающие влияние на равномерность температурного поля в системе косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями.

Abstract. A review of control methods for a system of indirect induction heating of a liquid with distributed volumetric parameters and uncertainties is presented. A general block diagram of the energy exchange of the system under consideration is presented. The factors influencing the uniformity of the temperature field in a system of indirect induction heating of a liquid with distributed volumetric parameters and uncertainties are summarized.

Ключевые слова: автоматизация, управление, косвенный, индукционный, нагрев, параметрическая неопределенность

Key words: automation, control, indirect, induction, heating, parametric uncertainty

Качество процесса косвенного индукционного нагрева жидкости в значительной степени детерминируется равномерностью температурного поля в объеме нагреваемой среды [1].

Общая блок-схема энергообмена системы косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями приведена на рисунке 1 [2].

Представим в виде трехмерного нестационарного дифференциального уравнения теплопроводности в частных производных процесс нагрева индукционной плиты системы косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями [3]:

$$\frac{\partial T(x,y,z,\tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial z^2} + \frac{q(x,y,z,T_{cp})}{c_s \cdot \rho_s}, \quad (1)$$

где $T(x, y, z, \tau)$ – температурное "пятно" с координатами (x, y, z) индукционной плиты в момент времени τ , °C;

a – коэффициент температуропроводности индукционной плиты, м²/с:

$$a = \frac{\lambda_s}{\rho_s c_s}, \quad (2)$$

λ_s, ρ_s, c_s – величины теплопроводности (Вт/м·К), плотность (кг/м³) и теплоемкость (Дж/кг·К) соответственно;

$q(x, y, z, T_{cp})$ – величина интенсивности внутренних тепловыделений относительно средней температуры и координат "пятна" индукционной плиты, Вт/м³:

$$q(x, y, z, T_{cp}) = \begin{cases} q_{0i}, & \text{если } (x, y, z) \in v_i, i = 1, 2 \dots n; \\ 0, & \text{в иных случаях;} \end{cases} \quad (3)$$

где q_{0j} – величина удельной мощности i -го индуктора, Вт/м³;

v_i – величина объема, где выделяется мощность i -го индуктора, м³;

n – количество индукторов в индукционной плите;

$T_{cp} = T_{cp}(\tau)$ – средняя температура индукционной плиты в момент времени τ , °С.

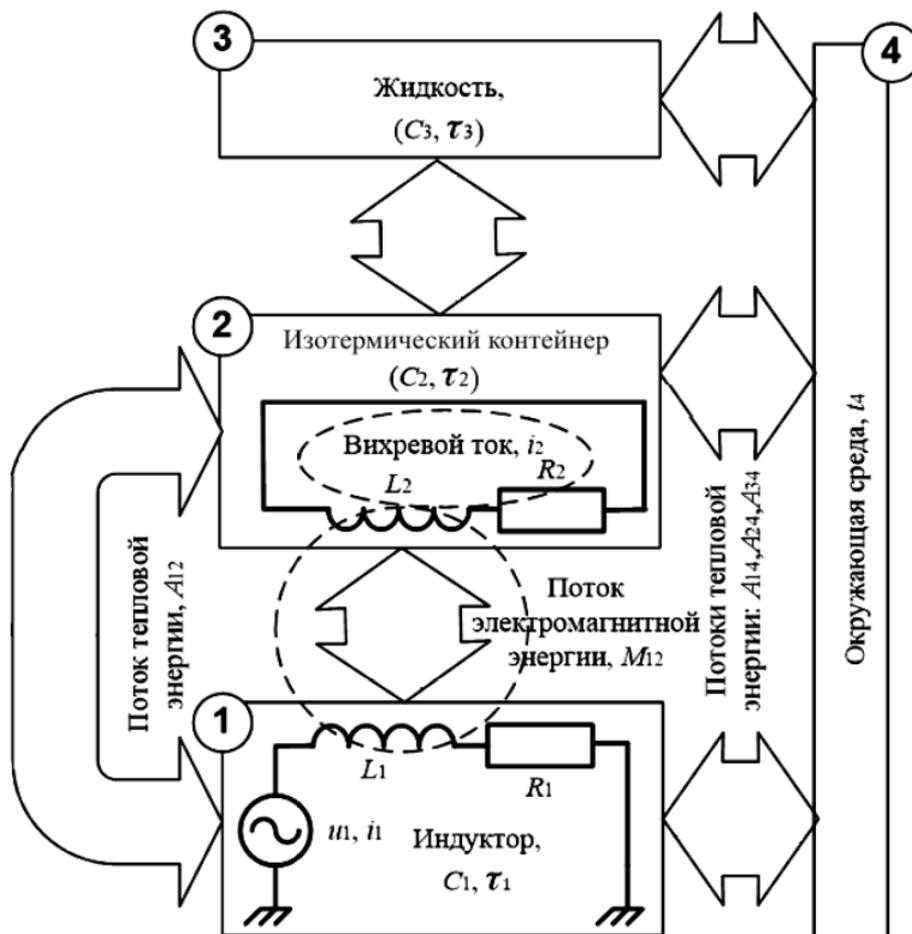


Рисунок 1 – Общая блок-схема энергообмена системы косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями

На параметр равномерности температурного поля нагреваемой среды в системе косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями оказывают влияние множественные факторы (рисунок 2):

– геометрические параметры системы в целом;

- теплофизические свойства материалов системы в целом;
- система внешнего теплообмена и обогрева;
- взаимное расположение объектов теплообмена относительно поверхности индукционной плиты;
- параметры системы автоматического управления электромагнитным и тепловыми полями и др.

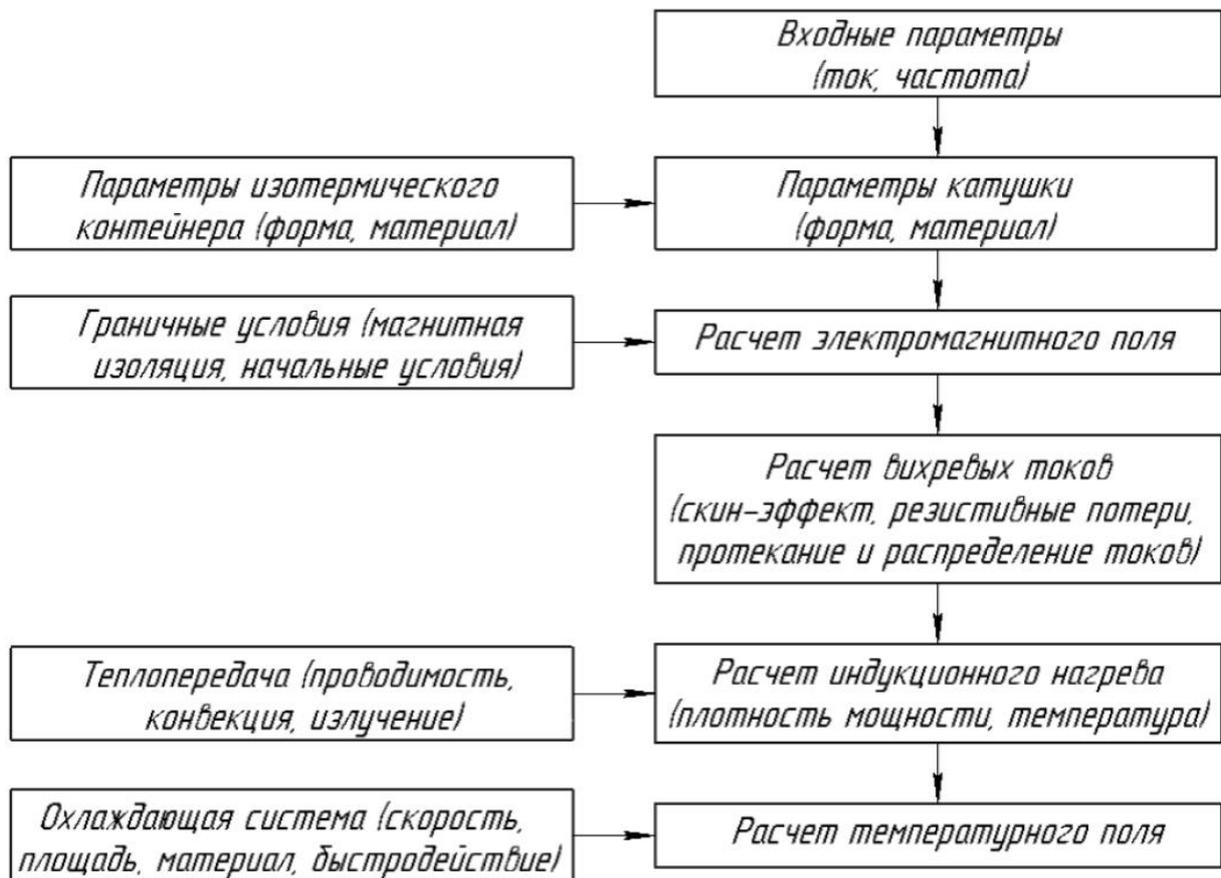


Рисунок 2 – Факторы, оказывающие влияние на равномерность температурного поля в системе косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями

Релевантная неизвестная информация о сложной технической системе может быть восстановлена в режиме онлайн из входных и выходных данных и динамики состояний объекта.

Алгоритм, разработанный для этой цели, известен как наблюдатель, в частности, параметрический идентификатор.

Имеют место следующие методы, применимые для управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями (рисунок 3) [4; 5].

Сравнивая систему идентификационного адаптивного управления, систему адаптивного управления с эталонной моделью и систему экстремального регулирования, можно резюмировать, что присутствие дополнительной (параметрической) обратной связи, сформированной цепью настройки параметров регулятора, является базовой отличительной чертой адаптивных (самонастраивающихся) систем [6].

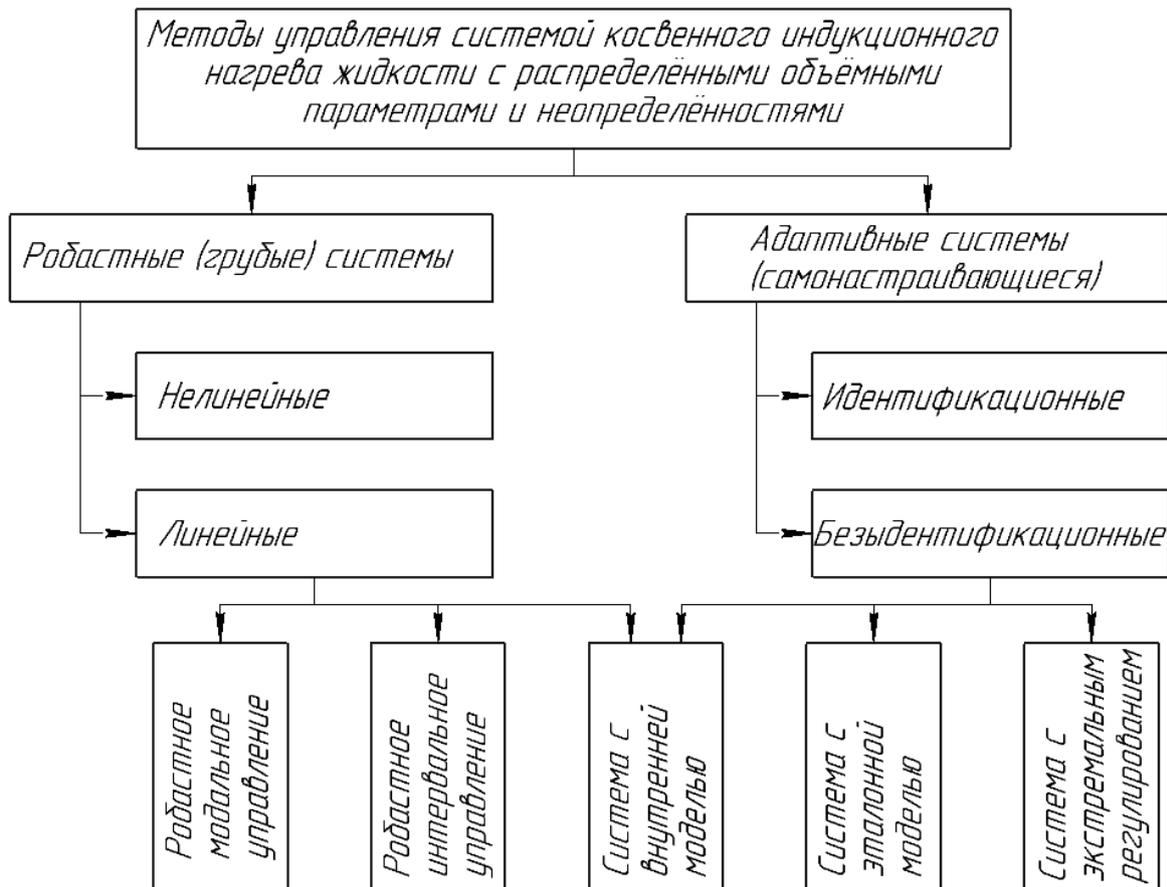


Рисунок 3 – Методы, применимые для управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями

Предполагая, что исследуемая система косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями может быть охарактеризована моделью и соответствующими ей состояниями, параметрами и/или возмущениями, параметрический идентификатор может представлять собой рекурсивный алгоритм, который восстанавливает недостающую информацию об этой системе из доступных измерений.

Подобная схема управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями способна обеспечить достаточно быстрый нагрев и точное регулиро-

вание температуры независимо от количества косвенно нагреваемой жидкости, с крышкой или без нее на изотермической емкости.

Библиографический список

1. Acero J. [et al.]. The domestic induction heating appliance: An overview of recent research // Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Austin, TX, USA, 2008. P. 651–657. DOI: <https://doi.org/10.1109/aprec.2008.4522791>.
2. Ларькина Т. С., Лыготчиков В. В., Ленеvский Г. С. Параметрическая идентификация параметров среды системы косвенного индукционного нагрева жидкости // Вестник Белорусско-Российского университета. 2022. № 3(76). С. 117–125.
3. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М. : Энергия, 1977. 344 с.
4. Рапопорт Э. Я., Левин И. С. Структурно-параметрический синтез оптимальных по быстродействию систем управления с распределенными параметрами в условиях интервальной неопределенности характеристик объекта // Автометрия. 2015. Т. 51, № 5. С. 3–16.
5. Рапопорт Э. Я., Плешивцева Ю. Э. Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева. М.: Наука, 2012. 309 с.
6. Никифоров, В. О., Слита, О. В., Ушаков, А. В. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. 232 с.