

## **Проблемы управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости как объекта с параметрическими неопределенностями**

**Ларькина Т. С.<sup>1</sup>, Лыготчиков В. В.<sup>2</sup>, Леневский Г. С.<sup>1</sup>**

*(<sup>1</sup>Беларусь, г. Могилёв, МОУ ВО "Белорусско-Российский университет", e-mail: tatyana.larkina.2015@yandex.ru; <sup>2</sup>г. Смоленск, филиал ФГБОУ ВО НИУ "Московский энергетический институт", e-mail: vvldrive@yandex.ru)*

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы проблем управления технологическим процессом, а именно: системой косвенного индукционного нагрева жидкости как объекта с параметрическими неопределенностями. Кратко обобщены основные вопросы, возникающие в ходе синтеза систем управления объектами с неопределенностями.

**Abstract.** The issues of technological process control problems are considered, namely: a system of indirect induction heating of a liquid as an object with parametric uncertainties. The main questions that arise in the course of the synthesis of control systems for objects with uncertainties are briefly summarized.

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

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

Проблематика обеспечения устойчивости и стабильности показателей качества управляемых процессов при условии неопределенности различной природы технологической среды их протекания занимает значимое место в области управления как в теории, так и в практике.

Одной из проблем системы косвенного индукционного нагрева жидкости с распределенными объемными параметрами и неопределенностями являются возможности адаптации к нагрузке и адаптивный контроль температуры как рабочей среды, так и проводящих материалов [1].

Индукционные установки косвенного индукционного нагрева представляют собой наукоемкие и технически сложные технологические объекты с распределенными объемными параметрами управления и распределенной функцией состояния (температурное распределение нагреваемой среды в объеме).

В данном случае в отличие от систем с сосредоточенными параметрами управление объектами с распределенными объемными параметрами значительно сложнее на качественном уровне: функция состояния и управляющие воздействия находятся в зависимости от времени и пространственных координат; и требует комплексного подхода с разработкой адекватной модели, алгоритмов и систем управления взаимосвязанными электромагнитными,

тепловыми, а в некоторых случаях гидравлическими и механическими процессами.

Релевантная неизвестная информация о сложной технической системе может быть восстановлена в режиме онлайн из входных и выходных данных и динамики состояний объекта (рисунок 1) [2]. Алгоритм, разработанный для этой цели, известен как наблюдатель, в частности, параметрический идентификатор [3]. Данные элементы являются важным инструментом для системной инженерии и, в том числе, для управления динамическими системами [4].



Рисунок 1– Общая структура программно-аппаратного обеспечения системы косвенного индукционного нагрева жидкости как объекта с параметрическими неопределенностями

В ходе синтеза систем управления объектами с неопределенностями следует разрешить следующие вопросы:

- 1) применимы ли методы классической теории управления объектами с параметрическими неопределенностями;
- 2) в случае применения методов классической теории управления объектами с параметрическими неопределенностями необходимо выполнить оценку влияния на качественные показатели системы, которая включает в свой

состав подобный объект, а также оценить вероятные отклонения характеристик реального объекта относительно характеристик принятой модели;

3) в случае отсутствия возможности применения методов классической теории управления объектами с параметрическими неопределенностями можно применить неадаптивные и адаптивные методы, применяемые в теории робастных систем управления.

На данный момент единый подход или теория для выявления применимости методов классической теории управления объектами в условиях параметрической неопределенности не предложены. В то же время стоит выделить следующие подходы для разрешения поставленной задачи:

1) теория робастности (грубости) параметров системы детерминирует условия, когда сохраняются необходимые свойства замкнутой системы в ходе изменений ее математической модели;

2) теория сингулярно возмущенной системы управления детерминирует свойства замкнутой системы с паразитной динамикой;

3) теория чувствительности применяет гипотезу неопределенности (малости вариаций) параметров по отношению к их номинальным значениям и с применением функций чувствительности детерминирует влияние параметрической неопределенности на качественные показатели и траектории системы;

4) теория интервальной системы, которая в [5] приведена наряду с вероятностной неопределенностью и применяет гипотезу произвольной неопределенности параметров, а также определяется случаем, когда о вероятностях возможных сценариев известно лишь то, что они положительны и дают в сумме единицу. В то же время неопределенность параметров принадлежит прямоугольному параллелепипеду в пространстве параметров, и решается задачей поиска условий устойчивости по Гурвицу для значений вектора параметров в соответствии с угловыми точками параллелепипеда на базе результатов робастной устойчивости.

При исследовании проблемы управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости как объекта с параметрическими неопределенностями можно исследовать вопрос на возможности применения аппарата теории параметрической чувствительности, метода функций Ляпунова, а также метод В. Л. Харитонова в постановке задачи обеспечения интервальным системам с интервальными матрицами состояния необходимых динамических свойств.

В рамках рассмотрения неадаптивных методов управления предлагается оценить возможность применения обобщенного модального управления с применением алгоритмической среды задач синтеза робастного интервального и модельного управления.

Задачи управления с параметрическими неопределенностями стоит свести к задачам обобщенного модального управления с целью обеспечения параметрической инвариантности, показателей качества системы, модальной робастности, требуемых значений оценок относительной интервальности матричных компонентов модельного представления.

В рамках рассмотрения адаптивных методов управления системой с параметрическими неопределенностями предлагается оценить возможность синтеза алгоритмов адаптивного и нелинейного робастного управления, применения общей теории устойчивости, метода функций Ляпунова, а также издромного управления с концепцией внутренней модели.

### **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. Льготчиков В. В., Ларькина Т. С. Синтез системы автоматического регулирования температуры жидкости с улучшенными динамическими показателями // Вестник МЭИ. 2019. № 5. С. 73–80.
3. Ларькина Т. С., Льготчиков В. В., Ленеvский Г. С. Параметрическая идентификация параметров среды системы косвенного индукционного нагрева жидкости // Вестник Белорусско-Российского университета. 2022. № 3 (76). С. 117–125.
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. Никифоров В. О., Слита О. В., Ушаков А. В. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. 232 с.