

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ КОСВЕННОГО ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ЖИДКОСТИ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ОБЪЁМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЯМИ

Индукционный нагрев обеспечивает бесконтактный, быстрый и эффективный нагрев проводящих материалов. Он становится одной из предпочтительных технологий нагрева в промышленности, домашнем хозяйстве и медицине, среди прочего, благодаря своим преимуществам по сравнению с другими классическими методами нагрева, такими как пламенный нагрев, нагрев сопротивлением и др. [1].

Одной из проблем системы косвенного индукционного нагрева жидкости с распределёнными объёмными параметрами и неопределённостями являются возможности адаптации к нагрузке и адаптивный контроль температуры как рабочей среды, так и проводящих материалов [2].

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. Данные элементы являются важным инструментом для системной инженерии и, в том числе, для управления динамическими системами [3].

Рассмотрим следующие методы, применимые для управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости с распределёнными объёмными параметрами и неопределённостями (рис. 1) [4]:

- робастные системы обеспечивают в рамках некоторого критерия приемлемые качественные параметры управления в присутствии сигнальных, структурных, параметрических и функциональных неопределённостей объекта управления. Зачастую по ходу работы системы коэффициенты регулятора не подстраиваются;

- нелинейные робастные системы управления обеспечивают малую чувствительность к вариативности математических моделей объекта управления исходя из дополнения к алгоритму управления статической специальной назначения нелинейной обратной связи;

- линейные робастные системы на базе модального управления применяют обобщенное модальное управление, где желаемые геометрический спектр собственных векторов и алгебраический спектр собственных значений доставляются матрице состояния объекта исследования. Подобные алгоритмы обобщенного модального управления при условиях распределённых объёмных параметров и неопределённости параметров матричных компонентов модели объекта исследования относятся к неадаптивному классу;

- интервальные робастные системы управления построены на применении векторно-матричного описания объектов проектирования, где величины интервальности значений первичных физических переменных

обуславливает интервальное представление матрицы состояний (интервальная и медианная составляющие);

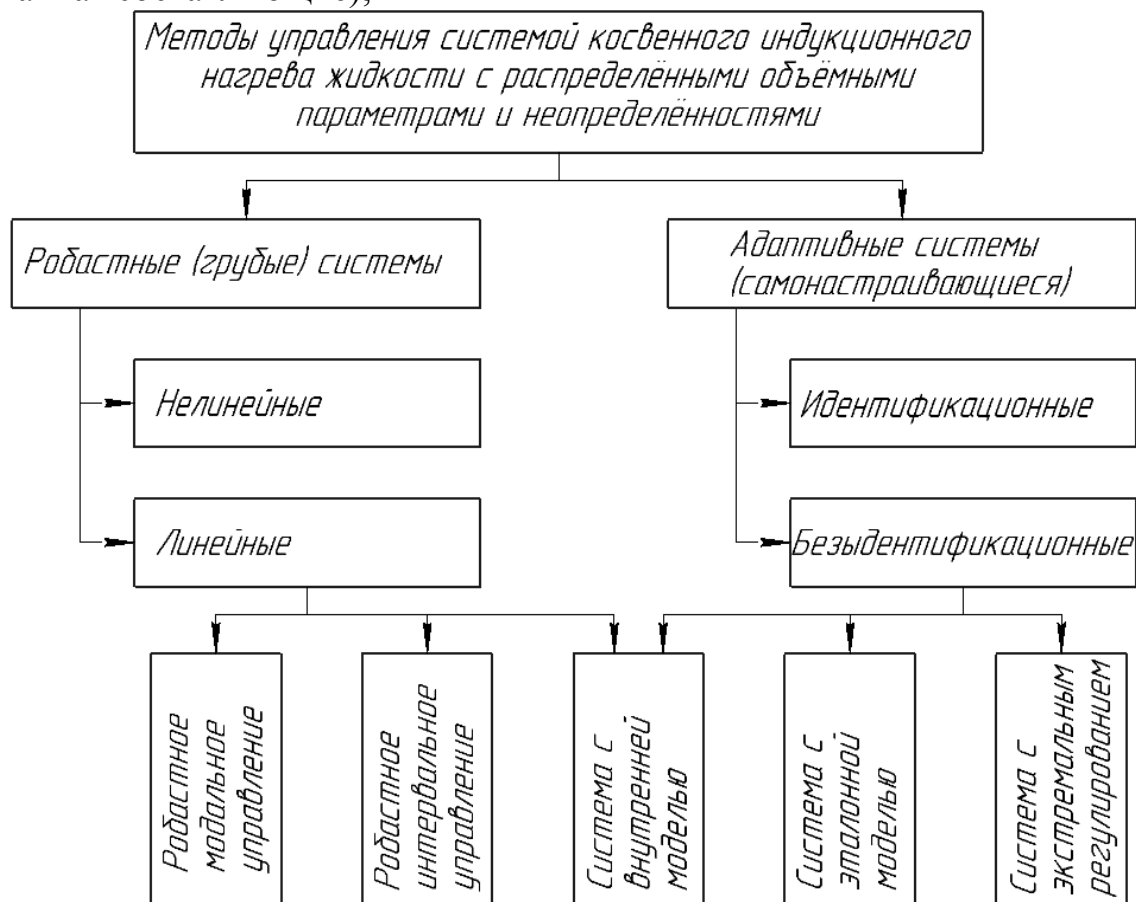


Рисунок 1 - Методы, применимые для управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости с распределёнными объёмными параметрами и неопределённостями

- адаптивные (самонастраивающиеся системы) обеспечивают компенсацию сигнальных, структурных, параметрических и функциональных неопределённостей объекта управления путем автоматической подстройки регулятора по ходу работы системы;
- идентификационные адаптивные системы управления (косвенная адаптация) построены на применении стратегии получения оценок динамических характеристик или параметров объекта исследования, которые в дальнейшем используются для расчета коэффициентов регулятора;
- безыдентификационные адаптивные системы управления (прямая адаптация) построены на применении процедуры настройки параметров регулятора на минимальную ошибку в управлении, в то же время алгоритм настройки настраиваемого регулятора и сам регулятор объединены единой целью функционирования;
- в системе управления с эталонной моделью задача управления строится на задании эталонной модели. Зачастую эталонная модель представлена линейной системой, которая формирует желаемый отклик на задающее воздействие;

– в системе управления с экстремальным регулированием задача управления строится на задании некоторого числового критерия качества, величина которого при соответствии коэффициентов регулятора параметрам объекта управления достигает минимального (максимального) значения.

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 (самоадаптирующихся) систем.

Предполагая, что исследуемая система косвенного индукционного нагрева жидкости с распределёнными объёмными параметрами и неопределённостями 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 (рис. 2).

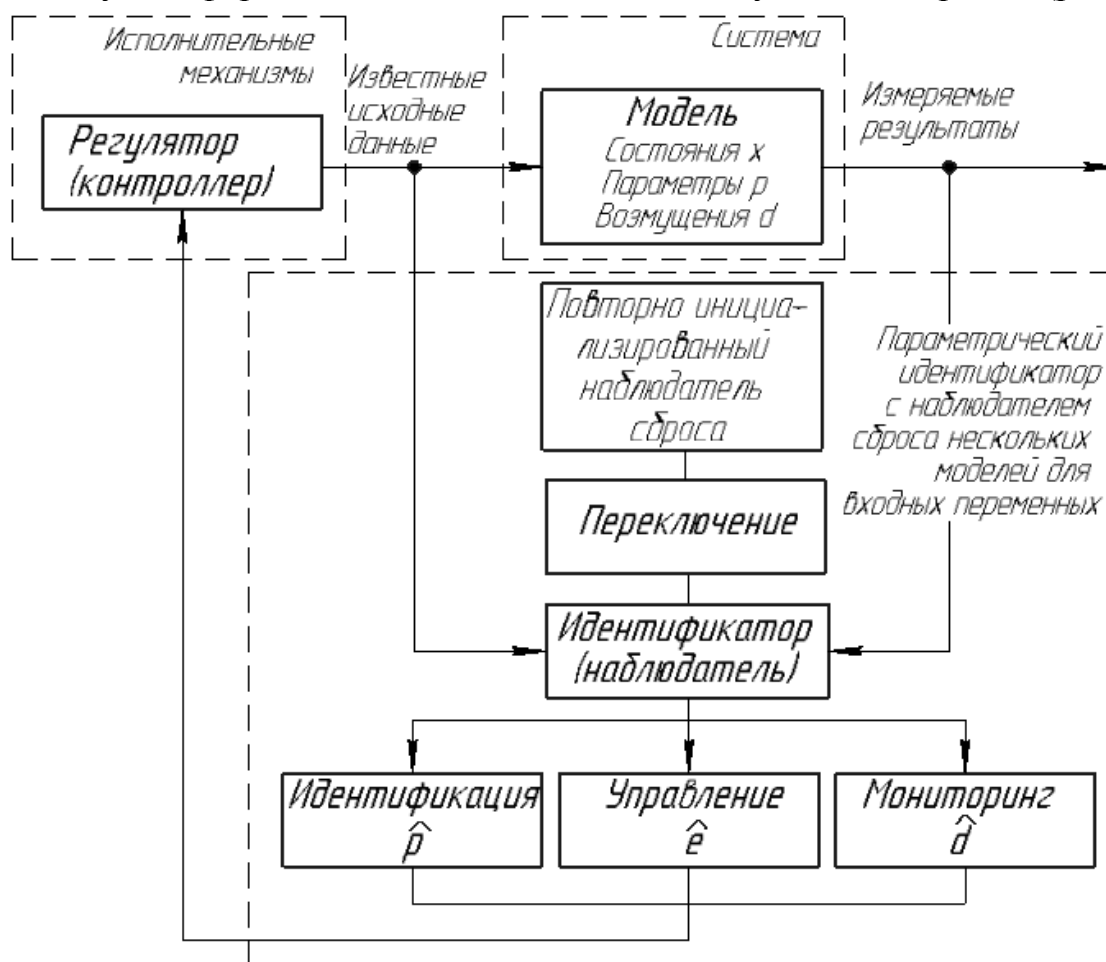


Рисунок 2 - Взаимосвязь между идентификатором и системой управления комплексом косвенного индукционного нагрева жидкости с распределёнными объёмными параметрами и неопределённостями

В зависимости от цели реконструируемой информации параметрический идентификатор делится на три разные классификации. В частности, оценка

устаревания для целей управления, оценка параметров для идентификации системы и/или адаптивного управления и оценка возмущений для мониторинга и обнаружения неисправностей.

Ошибка оценки установившегося состояния может появиться в системах, искаженных шумом. По этой причине в некоторых исследованиях добавлены дополнительные интегральные члены в закон оценивания состояния, чтобы улучшить точность стационарного состояния и повысить устойчивость к ошибкам моделирования и возмущениям. Такие наблюдатели известны как пропорционально-интегральные наблюдатели. Эти наблюдатели нацелены на преодоление некоторых ограничений производительности традиционных пропорциональных наблюдателей за счет включения дополнительной интегральной петли обратной связи, которая повышает устойчивость процесса оценки к возмущениям и моделирует ошибки.

Известно множество алгоритмов модуляции и управления, реализованных с использованием аналоговых или цифровых технологий. В настоящее время актуальны цифровые реализации с использованием цифровых сигнальных процессоров (DSP) или программируемых вентильных матриц (FPGA) из-за их преимуществ с точки зрения конфигурируемости и производительности, или методов ускоренного моделирования для систем индукционного нагрева, использующих преимущества ПЛИС.

Параметры обновляются в режиме реального времени в зависимости от оценок, предоставленных наблюдателем. Параметрический идентификатор состоит из повторно инициализированного наблюдателя сброса и нескольких фиксированных моделей идентификации, как это видно на рис. 2. Кроме того, для целей сравнения следует применять надежный контроллер на основе теории количественной обратной связи.

Подобная схема управления системой косвенного индукционного нагрева жидкости с распределёнными объёмными параметрами и неопределённостями способна обеспечить достаточно быстрый нагрев и точное регулирование температуры независимо от количества косвенно нагреваемой жидкости, с крышкой или без нее на изотермической емкости.

Литература

1. Acero J. and others. The domestic induction heating appliance: An overview of recent research. / J. Acero, J. M. Burdio, L. A. Barragan, D. Navarro, R. Alonso, J. R. Garcia, F. Monterde, P. Hernandez, S. Llorente, and I. Garde. // In Proc. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APES). – 2008. – Pp. 651-657.
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. Каскадный синтез наблюдателей состояния динамических систем, С.А. Крансова, В.А. ткин; [отв. Ред. А.П. Курдюков]; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. М.: Наука, 2006. – 272 с.: ил. 38.
4. Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А., Слита О.В., Ушаков А.В. Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении: учебное пособие для высших учебных заведений. СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 277 с.: ил. 65.