

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ СИНТЕЗА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Основной проблемой современных систем автоматического управления (САУ) тепловых электрических станций (ТЭС) является обеспечение высокого качества их функционирования в широком диапазоне изменения нагрузок. Для решения многих современных проблем автоматизации технологических процессов разработаны основы теории экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации динамических систем в рамках соответствующей научной школы, позволяющей существенно улучшить качество регулирования технологических процессов и служащей основой внедрения базисных инноваций в области автоматизации теплоэнергетическими процессами ТЭС [1÷6]. При этом вместо типовых алгоритмов регулирования, не позволяющих существенно улучшить качество регулирования из-за несоответствия в большинстве случаев структуры регулятора структуре математического описания динамики объекта более высокого порядка, используются оптимальные регуляторы. Математическая модель оптимального регулятора представляет собой произведение обратной передаточной функции объекта на заданную передаточную функцию разомкнутой системы, в которую входит критерий оптимальности в виде передаточной функции замкнутой системы по задающему воздействию с единственным расчетным параметром оптимальной динамической настройки, гарантирующим прямые показатели качества переходных процессов лучше зарубежных аналогов.

Системный анализ функционирования САУ технологическими процессами ТЭС указывает на необходимость их существенной модернизации. Это обусловлено вводом в эксплуатацию двух энергоблоков БЕЛАЭС, которые работают в базовой части графика электрической нагрузки. В связи с этим часть энергетического оборудования ТЭС ГПО «Белэнерго» вынуждены работать в широком диапазоне изменения нагрузок и режимов в пиковой и полупиковой части графика электрических нагрузок. В этих условиях для повышения безопасности, надежности, долговечности и уменьшения выбросов вредных веществ в окружающую среду и снижения себестоимости производства электрической и тепловой энергии необходимо внедрять инновационно-прорывные технологии автоматизации технологических процессов как на уровне низовой автоматики котлов и турбин, так и энергоблоков, общестанционной части САУ мощности станций в целом, а

также центральной управляющей вычислительной машины энергосистемы на основе аналитических экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации динамических систем, позволяющих существенно улучшить качество регулирования при плановых и внеплановых изменениях нагрузки.

Модернизация основных систем автоматического регулирования только четырёх энергоблоков Лукомльской ГРЭС, включая системы автоматического управления мощностью блоков, работающих в широком диапазоне изменения нагрузок от 100 до 30% номинальной мощности, позволит получить среднегодовой экономический эффект 1,45 млн. долларов США [1].

Для выполнения качественного регулирования необходимы знания о динамике объекта управления, т.е. идентификация объектов, которая проводится чаще всего экспериментальным путём. Для определения параметров динамических объектов целесообразно использовать их переходные характеристики, так как эти способы менее трудоёмкие, но позволяют получить достаточно полный объем информации для проведения структурно-параметрической оптимизации САР. Особенность предложенных экспресс-методов определения параметров математических моделей объектов регулирования с запаздыванием состоит в выделении из переходных характеристики той её части, которая аппроксимируется передаточной функцией инерционного звена второго порядка с различными постоянными времени. Оставшуюся часть графика переходной характеристики объекта предложено назвать условным запаздыванием объекта по каналу регулирующего воздействия [2]. При этом передаточная функция объекта в виде инерционного звена второго порядка с условным запаздыванием предложено использовать для исследования переходных процессов САР или рассчитывать параметры динамической настройки ПИД-регуляторов по методу полной компенсации в частном виде (МПК в ЧВ) [2]. Для расчёта параметров динамической настройки ПИ-регуляторов по методу МПК в ЧВ предложено использовать расчётную передаточную функцию объекта в виде инерционного звена первого порядка с условным запаздыванием, время разгона которого равна сумме постоянных времени знаменателя передаточной функции второго порядка без условного запаздывания, кроме того эту упрощенную модель объекта рекомендовано использовать для выбора структуры типового регулятора и расчёта параметров его динамической настройки по методу полной компенсации в общем виде (МПК в ОВ) [3, 5].

Особенностью методов полной компенсации является то, что они используются для оптимальной отработки задающих сигналов и крайних внешних возмущений, а для отработки внутренних возмущений разработаны методы частичной компенсации (МЧК) [2] и

модифицированный метод частичной динамика которых компенсации (ММЧК) [4].

Следует отметить, что МПК в ЧВ для объектов, динамика которых описывается инерционным звеном второго порядка с различными постоянными времени, в качестве критерия оптимальной отработки задания имеет минимум интеграла от суммы квадратов ошибки и её производной, а также соответствует критерию оптимального модуля и передаточной функции колебательного звена с коэффициентом

$$\frac{1}{\sqrt{2}}$$

демпфирования, равным $\frac{1}{\sqrt{2}}$. Последнее позволяет определять прямые показатели качества по численному значению малой постоянной времени σ : $t_p=8,4\sigma$ – полное время регулирования; $t_{p1}=4,7\sigma$ – время первого достижения скачка задания; $\Delta\sigma_m=4,3\%$ – максимальная величина перерегулирования [2].

Для объектов регулирования с условным запаздыванием τ_y используют формулы МПК в ЧВ с заменой малой постоянной времени передаточной функции объекта σ на условное запаздывание τ_y .

В двухконтурных типовых САР для расчёта параметров динамической настройки стабилизирующих ПИ-регуляторов используют методы МЧК или ММЧК, а корректирующие регуляторы настраивают по методам МПК.

Для повышения качества регулирования типовых каскадных САР с малоинерционными датчиками предложено стабилизирующий регулятор настраивать по передаточной функции оптимального регулятора, а корректирующий регулятор – по МПК в ЧВ для двух значений

коэффициента демпфирования $\xi = \frac{1}{\sqrt{2}}$ и $\xi = 1$ колебательного звена.

Для существенного улучшения качества регулирования САР с дифференцированием промежуточной регулируемой величины рекомендовано использовать инвариантную САР с косвенным выделением внешнего возмущения без его измерения, в том числе с использованием стабилизирующего устройства [4].

Для выделения эквивалентного внешнего возмущения параллельно инерционному участку объекта регулирования реализуют его полную модель в виде инерционного звена второго порядка с условным запаздыванием, на вход которого подают сигнал по промежуточной регулируемой величине, а выход с минусом подают на вход дополнительного элемента сравнения, на второй вход которого подают сигнал с плюсом основной регулируемой величины. При этом выходной сигнал дополнительного элемента сравнения поступает на вход дифференциатора компенсации эквивалентного внешнего возмущения, выход которого с минусом подают на вход основного регулятора [2].

Для достижения полной инвариантности по отношению к наиболее опасному внутреннему возмущению предложено его измерять и компенсировать дополнительным дифференциатором [4]. Причём

передаточная функция этого дифференциатора равна обратной передаточной функции основного регулятора.

Доказано существенное повышение качества регулирования ИСАР по СУ по сравнению с ИСАР с дифференциатором как для скачкообразных, так и трапециевидных внешних возмущений [4].

Максимальное повышение качества регулирования достигается использованием дважды инвариантной САР при плановом изменении нагрузки [4]. При этом инвариантная САР при плановом изменении нагрузки, кроме полной инвариантности, по отношению к наиболее опасному внутреннему возмущению, позволяет достигнуть требуемого качества отработки крайнего внешнего возмущения с точностью до заданного значения

Для сохранения высокого качества регулирования во всем диапазоне изменения нагрузок предложено автоматически корректировать параметры регулирующих устройств и моделей в функции изменения расхода перегретого пара на входе котла или электрической мощности энергоблока.

Аналитические экспресс-методы синтеза высококачественных систем автоматического управления технологическими процессами прошли широкую апробацию при модернизации регуляторов впрыска котла ТГМП-114 энергоблока №1 Лукомльской ГРЭС, работающего в широком диапазоне изменения нагрузок котла от 100 до 30%, позволяя получить практически любые показатели качества регулирования при основных воздействиях.

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Высшая школа, 2017. – 238 с.

2. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: спр. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: Высшейш. шк., 1984. – 192 с.

3. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г.Т. Кулаков. – Минск: Технопринт, 2003. – 135 с.

4. Теория автоматического управления: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Высшая школа, 2022. – 197с.

5. Кузьмицкий, И. Ф. Теория автоматического управления: Учебник для вузов / И. Ф. Кузьмицкий, Г. Т. Кулаков. Минск: БГТУ, 2010. – 574 с.

6. Кулаков, Г. Т. Феномен золотого сечения как основа экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации систем автоматического управления / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении [Электронный ресурс] : материалы XI международной научно-практической конференции (Минск, 5 апреля 2023 года) : в рамках выставки «Автоматизация, электроника – 2023» / редкол.: А. Р. Околов (гл. ред.) [и др.] ; сост. А. Н. Дербан. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 74-78.