

УДК 681.51 (075.8)

К ВОПРОСУ АДЕКВАТНОСТИ ОПТИМАЛЬНОЙ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАННОМУ КРИТЕРИЮ КАЧЕСТВА

Лобач А.Г., Капуш И.С.

Научный руководитель – д.т.н. профессор Кулаков Г.Т.

Задачи синтеза оптимальной системы автоматического управления (САУ) с использованием принципа динамической компенсации традиционно разделяют на два этапа [1]:

- нахождение эталонного оператора замкнутой системы по задающему воздействию, например, в виде соответствующей заданной передаточной функции;
- синтез оптимального регулятора САУ, обеспечивающего приближение реального переходного процесса к эталонному.

Передаточная функция оптимального регулятора при этом содержит сомножитель, обратный передаточной функции объекта по каналу регулирующего воздействия. Вместе с тем, большинство теплоэнергетических объектов имеет запаздывание по каналу регулирующего воздействия, поэтому обычно считают, что такие звенья физически трудно или невозможно реализовать и, следовательно, реальная регулирующая величина также может только приближаться к эталонной.

Для повышения качества регулирования технологических параметров ТЭС и АЭС в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) разработаны аналитические экспресс-методы структурно-параметрической оптимизации теплоэнергетических процессов, позволяющие существенно улучшать качество отработки основных воздействий [2, 3]. Предложенные методы основаны на новой интерпретации передаточной функции оптимальных регуляторов при отработке задания. При этом передаточная функция оптимального регулятора представляет собой произведение обратной передаточной функции объекта по каналу регулирующего воздействия на заданную передаточную функцию разомкнутой системы, в которую входит заданная передаточная функция замкнутой САУ при отработке задания, выполняющая роль критерия качества.

Причем структура передаточной функции критерия качества должна полностью соответствовать структуре объекта по каналу регулирующего воздействия. Для объектов без запаздывания передаточная функция критерия качества представляет собой последовательное соединение инерционных звеньев с одинаковыми постоянными времени, численное значение которых представляет собой единственный расчетный параметр оптимальной динамической настройки оптимального регулятора.

Для объектов с запаздыванием в качестве критерия качества применяют последовательное соединение инерционных звеньев с одинаковыми постоянными времени и звена запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

Экспресс-методы позволяют общую передаточную функцию многоконтурной САУ сводить к одной передаточной функции критерия качества при обработке задания аналитическим путем.

Адекватность математической модели многоконтурной САУ выбранному критерию качества при обработке скачка задания покажем на примере каскадной системы, имитационная модель которой приведена на рисунке 1.

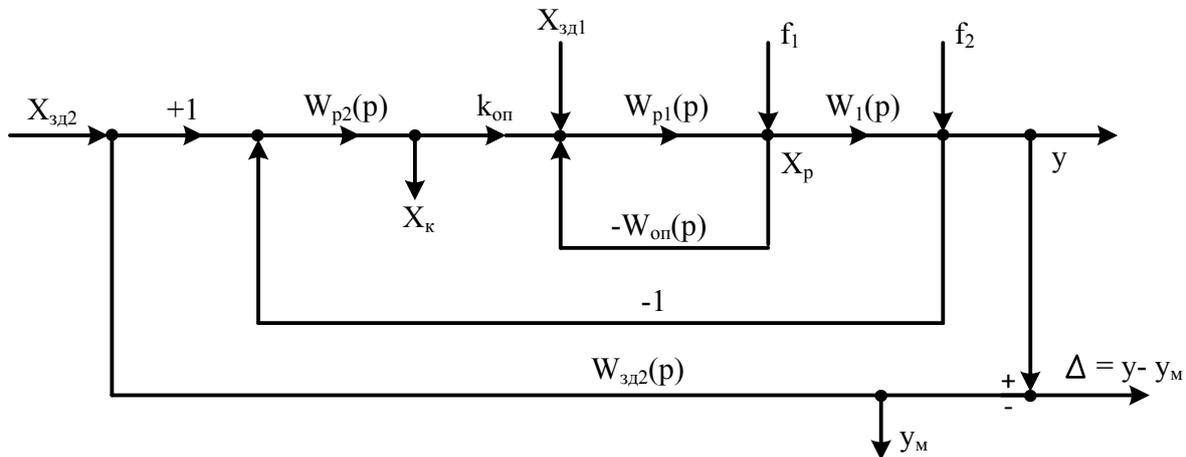


Рисунок 1. Имитационная модель проверки адекватности системы каскадной САУ при обработке скачка задания выбранному критерию качества: $y(t)$ – регулируемая величина; x_p – регулирующее воздействие; x_k – корректирующее воздействие; $x_{зд1}$ – задание стабилизирующему регулятору; $x_{зд2}$ – задание корректирующему регулятору; f_1 – внутренне возмущение; f_2 – внешнее возмущение; Передаточные функции: $W_{p2}(s)$ – корректирующего регулятора (КР) и $W_{p1}(s)$ – стабилизирующего регулятора (СР); $W_{оп}(s)$ – опережающего участка; $W_1(s)$ – инерционного участка объекта; $W_{зд2}(s)$ – критерий качества; $y_m(t)$ – выход модели критерия качества при обработке скачка задания $x_{зд2}$

Передаточная функция опережающего участка объекта регулирования имеет вид инерционного звена первого порядка:

$$W_{оп}(s) = \frac{K_{оп}}{T_{оп}s+1}, \quad (1)$$

а инерционного участка – в виде реального интегрирующего звена:

$$W_1(s) = \frac{1}{T_1s(\tau_1s+1)}. \quad (2)$$

Передаточная функция оптимального стабилизирующего регулятора имеет вид [1]:

$$W_{p1}(s) = [W_{оп}(s)]^{-1} W_{зд1}^{PC(n=1)}(s) = \frac{T_{оп}s+1}{K_{оп}T_{зд1}s}, \quad (3)$$

где $W_{з\text{д}1}^{\text{PC}(n=1)}(s)$ – заданная передаточная функция разомкнутой системы при $n=1$, которая имеет вид идеального интегрирующего звена с заданной постоянной времени $T_{з\text{д}1} = T_{\text{оп}}$.

Передаточная функция корректирующего регулятора с учетом (2) принимает вид реального ПД-регулятора [2]:

$$W_{p2}(s) = [W_1(s)]^{-1} W_{з\text{д}2}^{\text{PC}(n=2)}(s) = \frac{T_1(\tau_1 s + 1)}{2T_{з\text{д}2} \left(\frac{T_{з\text{д}2}}{2} s + 1 \right)}, \quad (4)$$

где $T_{з\text{д}2}$ – единственный расчетный параметр динамической настройки корректирующего регулятора:

$$\gamma = 0.56$$

$$T_{з\text{д}2} = \tau_1 \gamma = 0.56 \tau. \quad (5)$$

Здесь γ – коэффициент, численное значение которого определяют рядом чисел правила золотого сечения, а заданная передаточная функция разомкнутой системы имеет вид [2]:

$$W_{з\text{д}2}^{\text{PC}(n=2)}(s) = \frac{1}{(T_{з\text{д}2} s + 1)^2 - 1} = \frac{1}{2T_{з\text{д}2} s \left(\frac{T_{з\text{д}2}}{2} s + 1 \right)}. \quad (6)$$

Так как численное значение постоянной τ_1 в передаточной функции регулятора (4) больше $0.5T_{з\text{д}2}$, то передаточная функция корректирующего регулятора в динамике будет соответствовать звену быстрого реагирования в виде реального ПД-регулятора:

$$W_{p2}(s) = \frac{T_1 * \tau_1 s + 1}{2T_{з\text{д}2} \frac{T_{з\text{д}2}}{2} s + 1}. \quad (7)$$

Следует отметить, что передаточная функция оптимального корректирующего регулятора (КР) учитывает только передаточную функцию инерциального участка объекта (2), так как между выходом КР и входом стабилизирующего регулятора (СР) дополнительно установлен усилитель с коэффициентом передачи опережающего участка $K_{\text{оп}}$, в результате чего внутренний контур со СР превращается в усилительное звено с единичным коэффициентом передачи [1]. При этом заданная передаточная функция критерия качества с учетом (2) при обработке скачка задания и $T_{з\text{д}2}$ примет следующий вид:

$$W_{з\text{д}2}(s) = \frac{1}{(T_{з\text{д}2} s + 1)^2}. \quad (8)$$

Докажем, что передаточная функция многоконтурной САУ (рисунок 1) при отработке скачка задания $x_{зд2}$ адекватна заданной передаточной функции критерия качества (8).

Передаточная функция САУ по заданному воздействию примет следующий вид:

$$W_{y,x_{зд2}}(s) = \frac{W_p(s)W_{об}(s)}{1+W_p(s)W_{об}(s)} = \frac{W_{pc}(s)}{1+W_{pc}(s)} = \frac{1}{\frac{1}{W_{pc}(s)}+1}, \quad (9)$$

где $W_{pc}(s)$ – передаточная функция разомкнутой системы, равная с учетом передаточной функции (2) и (7) реальному интегрирующему звену:

$$W_{pc}(s) = \frac{T_1(\tau_1 S+1)}{2T_{зд2}(\frac{T_{зд2}}{2}S+1)} * \frac{1}{T_1 S(\tau_1 S+1)} = \frac{1}{2T_{зд2}S(\frac{T_{зд2}}{2}S+1)}. \quad (10)$$

Подставив передаточную функцию (10) в (9), получим:

$$W_{y,x_{зд2}}(s) = \frac{1}{2T_{зд2}S(\frac{T_{зд2}}{2}S+1)+1} = \frac{1}{(T_{зд2}S+1)^2}, \quad (11)$$

равную заданной передаточной функции критерия качества (8), что и требовалось доказать.

Аналогичные результаты показывает имитационное моделирование переходных процессов САУ при отработке скачка задания $x_{зд2}$ (рисунок 2).

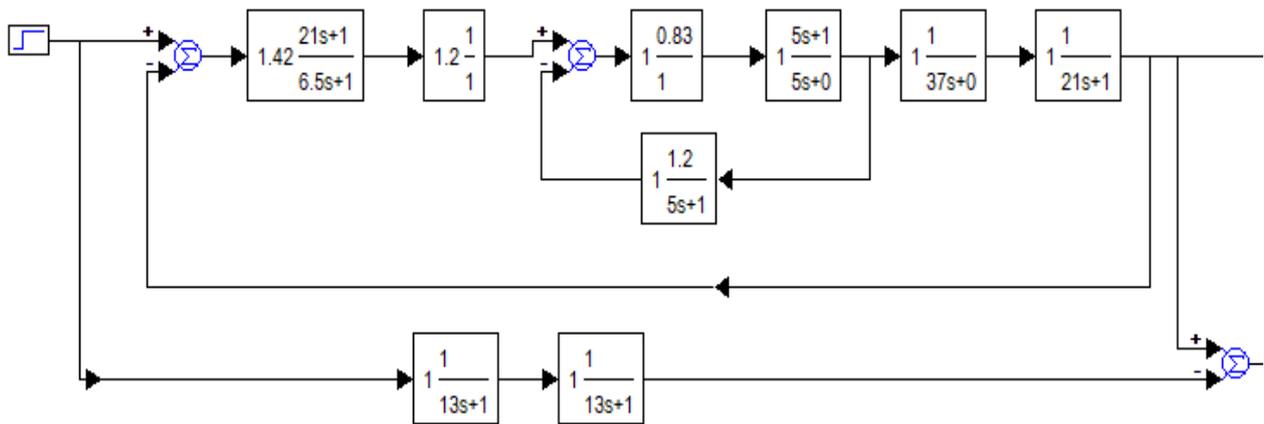


Рисунок 2. Структурная схема моделирования каскадной САУ с оптимальными регуляторами для объекта без самовыравнивания: y – основная регулируемая величина; y_m – модель заданного критерия оптимальности; Δ – разница между y – y_m

Графики передаточных процессов САУ при отработке скачка задания $x_{зд2}$, приведены на рисунке 3.

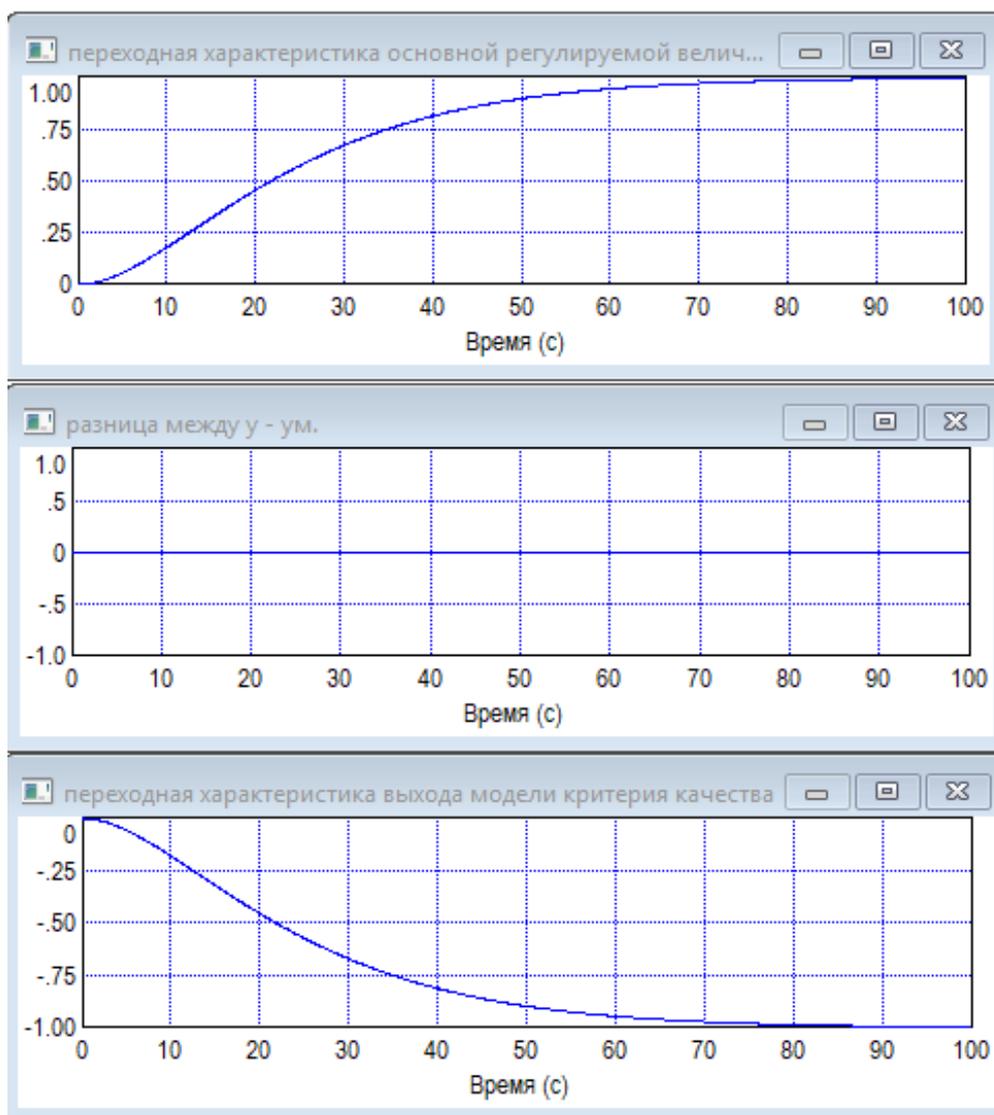


Рисунок 3. Графики переходных характеристик САУ при отработке скачка задания $x_{зд2}:u(t)$ – основная регулируемая величина; $u_m(t)$ – выход модели критерия качества.

Видно, что основная величина $u(t)$ полностью компенсирует выходную переменную модели критерия качества $u_m(t)$, в результате чего разница между ними $\Delta = u(t) - u_m(t)$ равна нулю, т.е. структура многоконтурной САУ сформирована таким образом, что в ней произошла полная динамическая компенсация динамики объекта и реальная регулируемая величина $u(t)$ полностью совпала с заданной $u_{зд} = u_m$ величиной.

Литература

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебники в 3-х т. Т.2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления. / Под ред. Н.Д. Егупова. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 736 с.: ил.
2. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: БНТУ, 2017. – 238 с.: ил.
3. Теория автоматического управления: учебно-методическое пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: БНТУ, 2017. – 133 с.