

УДК 62-503.57

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Струй Е.В.

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

Достижение высокого качества функционирования многих важнейших контуров регулирования объектов теплоэнергетики является актуальной задачей. Исследования настройки систем автоматического регулирования (САР), вызванные, с одной стороны, новыми возможностями современной контроллерной техники, а с другой - повышенными требованиями к надежности и эффективности, дали поразительные результаты.

Рассмотрены два подхода к достижению необходимого запаса устойчивости систем регулирования инерционных объектов в условиях изменения режима работы технологического оборудования. Предложены их структурные решения, приведены методики настройки.

Путем объединения нескольких подходов к синтезу систем регулирования можно получить метод проектирования, который эффективен в довольно широком диапазоне неопределенностей типичных для инерционных ОУ теплоэнергетики и обеспечивает достаточную робастность за счет небольшого, легко оцениваемого снижения качества функционирования. Также важны простота применения и оценка качества функционирования с помощью прямого, а лучше нескольких прямых показателей качества функционирования.

Для решения поставленной задачи рассматривается возможность применения ИМС(Integral Model Control)-Н₀-регулятора, но с использованием прямых показателей качества функционирования. Далее для нахождения компромисса между требуемым качеством функционирования и робастностью предложена методика использования динамической коррекции и выполнено сравнение предлагаемых подходов. [1]

$$W_{об}(p) = \frac{K_0 e^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(\sigma p + 1)}, \quad (1)$$

где K_0 – коэффициент передачи объекта,

T_1 и σ – постоянные времени,

τ – запаздывание.

Передаточная функция ПИД-регулятора:

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{T_f p + 1} \right), \quad (2)$$

где K_p – коэффициент передачи регулятора,

T_i – время интегрирования регулятора,

T_d – время дифференцирования регулятора,

T_f – временная постоянная фильтра.

Для сравнительного анализа изложенных методов выбран инерционный контур регулирования соотношения вода-топливо пылеугольного энергоблока 300 МВт. Идентификация объекта управления проведена с помощью активных экспериментов. За основу взят объект регулирования второго порядка с запаздыванием [1]:

$$W_{об}(p) = \frac{2,3 \cdot e^{-10p}}{(98p + 1)(49p + 1)}. \quad (3)$$

Используя параметры динамической настройки ПИД-регулятора [таблица 1, 1] запишем передаточную функцию регулятора, оптимизированные по методам Киевского политехнического института (КПИ)[1]:

$$W_p(p) = 1,4 \left(1 + \frac{1}{110p} + \frac{27,5p}{3,44p + 1} \right). \quad (4)$$

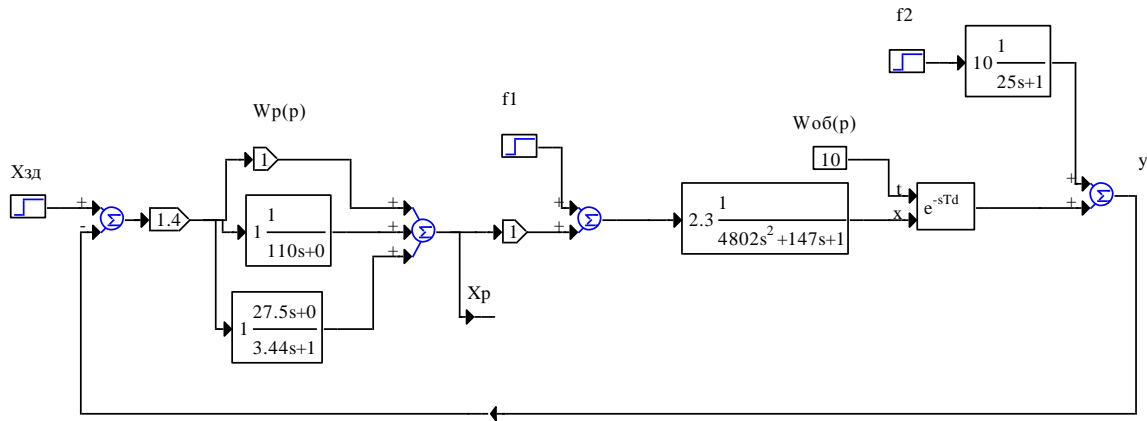


Рисунок 1. Структурная схема САР №1 КПИ, где $x_{зд}$ – заданное воздействие, x_p – регулирующее воздействие, f_1 – внутреннего возмущения, f_2 – крайнего внешнего возмущения, y – основная регулируемая величина

Структурная схема САР, сформированная на базе экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации БНТУ[2], приведена на рисунке 2.

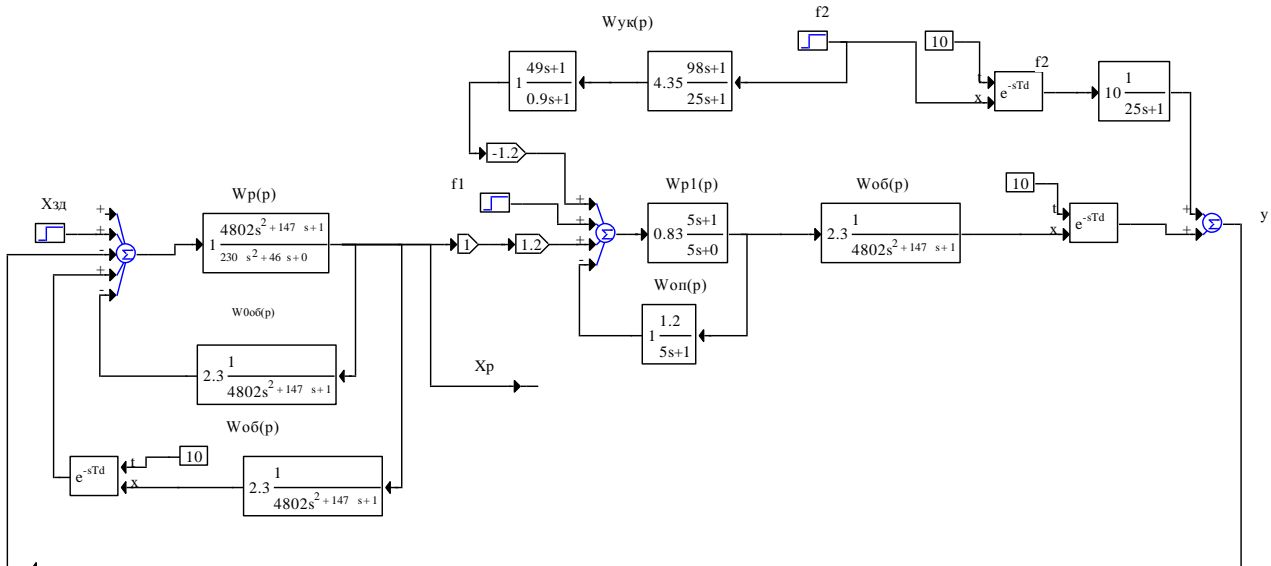


Рисунок 2. Структурная схема САР №2 БНТУ их базе передаточной функции оптимального регулятора[2] и линейного упредителя Смита, где $x_{зд}$ – заданное воздействие, x_p – регулирующее оздействие, f_1 – внутреннего возмущения, f_2 – крайнего внешнего возмущения, y – основная регулируемая величина

Передаточная функция объекта регулирования без запаздывания:

$$W_{об}^o(p) = \frac{K_0}{(T_p + 1)(\sigma p + 1)} = \frac{2,3}{(98p + 1)(49p + 1)}. \quad (5)$$

Передаточная функция оптимального регулятора Кулакова:

$$W_p^{opt}(p) = [W_{об}^o(p)]^{-1} \cdot W_{зд}^{PC(n=2)}(p) = \frac{(98p + 1)(49p + 1)}{2,3 \cdot 2T_{зд1} \left(\frac{T_{зд1}}{2} p + 1 \right)}, \quad (6)$$

где $T_{зд} = \gamma \cdot \tau$,

$\gamma = (0,618; 0,382; 0,09)$,

$T_{зд1}^{opt} = 6,18$.

Устройство компенсации крайнего внешнего возмущения:

$$W_{ук}^{f2 экв}(p) = \frac{(98p + 1)(49p + 1)}{k_0(25p + 1)(T_{зд2}p + 1)}$$

где $T_{зд2} = \gamma\tau$,
 $T_{зд2}^{opt} = 0,9$.

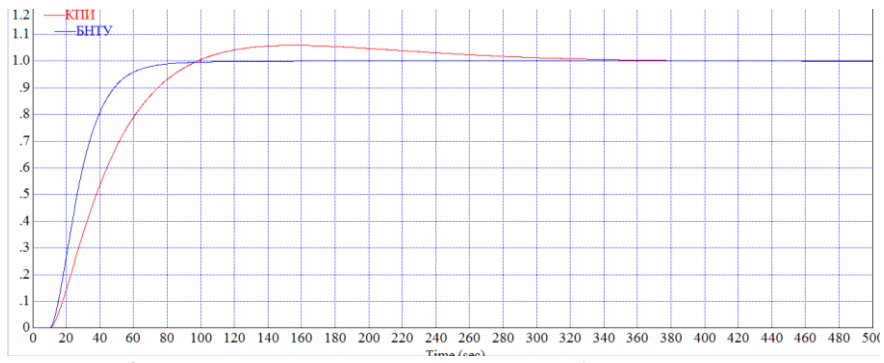


Рисунок 3. Регулируемая величина при отработке скачка задания $x_{зд}$

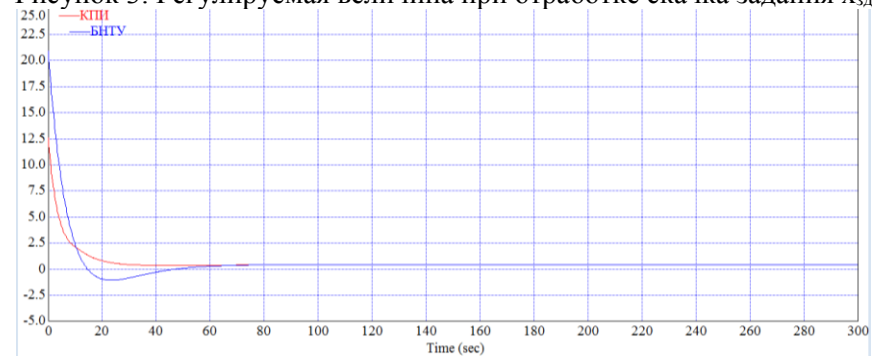


Рисунок 4. Регулирующее воздействие при отработке скачка задания $x_{зд}$

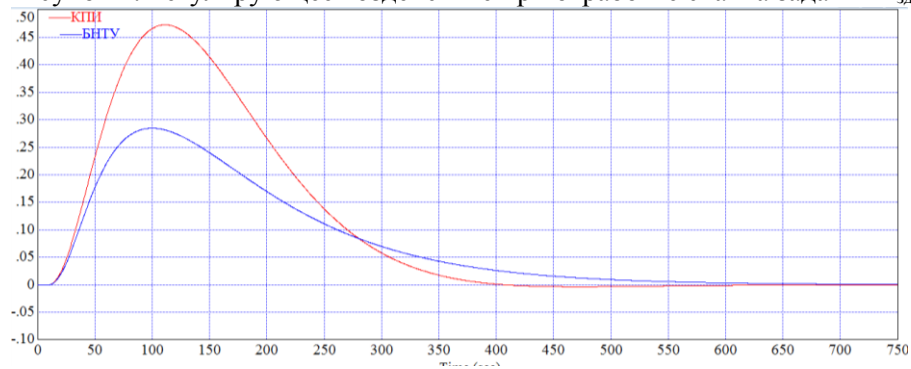


Рисунок 5. Регулируемая величина при отработке внутреннего возмущения f_1

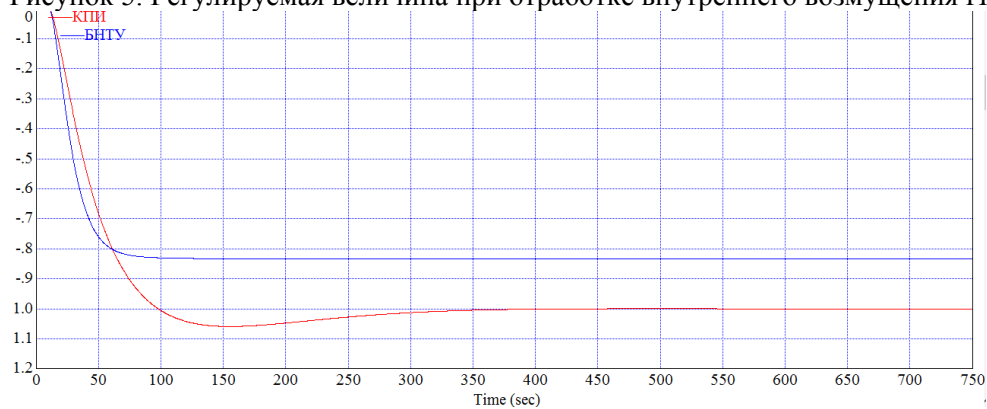
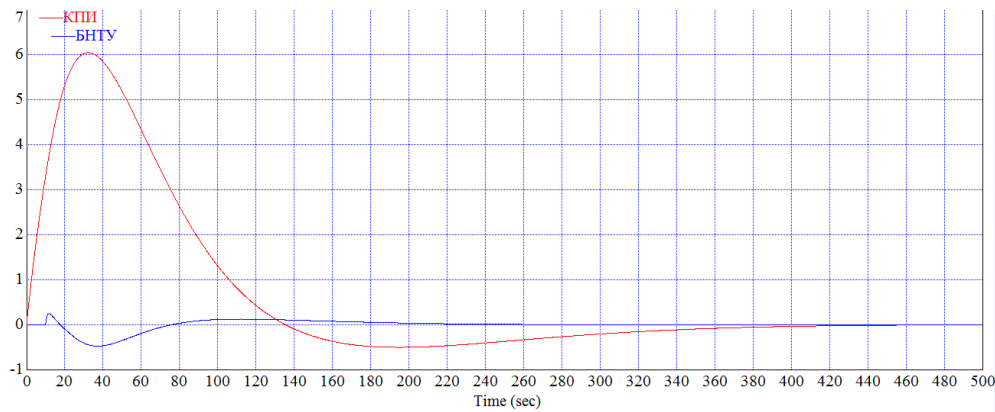
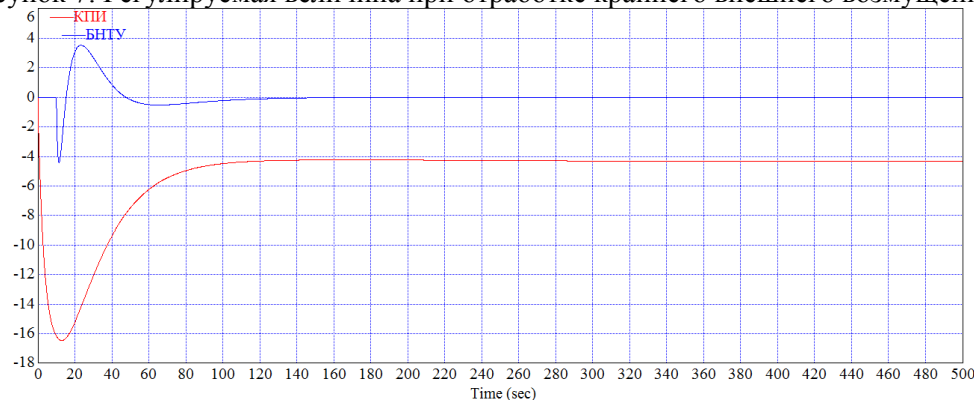


Рисунок 6. Регулирующее воздействие при отработке внутреннего возмущения f_1

Рисунок 7. Регулируемая величина при обработке крайнего внешнего возмущения f_2 Рисунок 8. Регулирующее воздействие при обработке крайнего внешнего возмущения f_2

В результате анализа методов КПИ и БНТУ видно:

- при обработке задания время регулирования в методе БНТУ в 3 раза меньше, чем в КПИ;
- при обработке внутреннего воздействия динамическая ошибка регулирования БНТУ уменьшается на 74%;
- при обработке внешнего возмущения время регулирования БНТУ уменьшается в 2,5 раза, динамическая ошибка регулирования в 11 раз по сравнению с методом КПИ.

Литература

1. Ковриго, Ю. М. Обеспечение робастного управления в системах регулирования инерционных теплоэнергетических объектов [Текст] / Ю. М. Ковриго, Т. Г. Баган, А. С. Бунке // Теплоэнергетика. 2014. № 3. с. 9-14.
2. Кулаков Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами/ под редакцией Г.Т. Кулакова – Минск: Высшая школа, 2017, 240 с.