

УДК 621.18-5

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ЗА КОТЛОМ

Кель А.

Научные руководители – д.т.н., профессор Кулаков Г.Т.,  
к.э.н., доцент Кравченко В.В.

Температура перегретого пара за котлом обычно поддерживается типовой САР с дифференциатором [1].

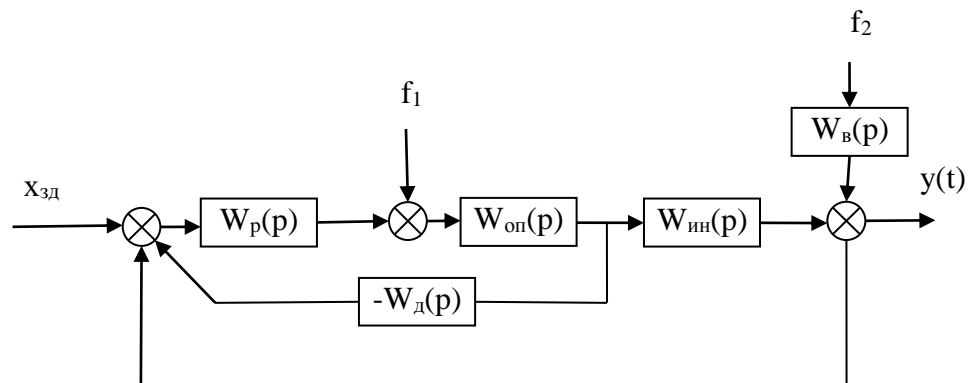


Рисунок 1. Схема моделирования переходных процессов САР с дифференциатором

### Расчет настройки типовой САР с дифференциатором

Расчет дифференциатора выполняется по МПК в ЧВ по передаточной функции инерционного участка объекта регулирования  $W_{ин}(p)$  для оптимальной отработки крайнего внешнего возмущения  $f_2$  [2]:

$$T_{\partial} = T_{\kappa} = T_{ин} + \sigma_{ин} = 112 + 21.6 = 133.6 \text{ с};$$

$$K_{\partial} = \frac{2 \cdot K_{ин} \cdot \tau_y}{T_{\kappa}} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 44}{133.6} = 0,659, \text{ при } \xi = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

$$W_{\partial}(p) = \frac{K_{\partial} T_{\partial} p}{T_{\partial} p + 1} = \frac{0,659 \cdot 133.6 p}{133.6 p + 1}.$$

Расчет основного регулятора выполняется по МЧК по передаточной функции опережающего участка объекта регулирования  $W_{оп}(p)$ , направленный на оптимальную отработку внутреннего возмущения  $f_1$  [2]:

$$T = \frac{T_{он}}{\sigma_{он}} = \frac{24}{3} = 8;$$

$$K = 0,7395 \cdot T \cdot \left(1 + \frac{1}{T}\right)^2 - 1 = 0,7395 \cdot 8 \cdot \left(1 + \frac{1}{8}\right)^2 - 1 = 6.487;$$

$$K_p = \frac{K}{K_{он} K_{\partial}} = \frac{6.487}{4 \cdot 0.659} = 2.462 \frac{\text{т/ч}}{\text{°C}}, \text{ при } \xi = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

$$I = \frac{6,36 \cdot K}{T \cdot \left(1 + \frac{1}{T}\right)^3} = \frac{6,36 \cdot 6,487}{8 \cdot \left(1 + \frac{1}{8}\right)^3} = 3,622 ;$$

$$T_u = I \cdot \sigma_{on} = 3,622 \cdot 3 = 10,967 \text{ с};$$

$$W_p(p) = \frac{K_p(T_u p + 1)}{T_u p} = \frac{2,462(10,867 p + 1)}{10,867 p}.$$

**Инвариантная САР при плановом изменении нагрузки (ПИН) с оптимальной динамической настройкой**

Используя условие инвариантности (принцип двухканальности), находим структуру устройства компенсации крайнего внешнего возмущения при его непосредственном измерении [3]:

$$W_{y.к.}^{f2}(p) = (1 - W_{y_1, x_{зд}}) * \frac{W_B(p)}{W_{y_1, x_{зд}}(p)};$$

$$W_{y.к.}^{f2}(p) = \left(1 - \frac{e^{-T_d p}}{(T_{зд} p + 1)^2}\right) * \frac{K_B(T_{зд} p + 1)}{(T_{зд} p + 1)}.$$

При этом передаточную функцию корректирующего регулятора находим на основе передаточной функции оптимального ПИ-регулятора [3]:

$$W_p^{opt}(p) = \frac{1}{K_{ин}} \frac{(T_{ин} p + 1)(\sigma_{ин} + \tau_y) p + 1}{2 T_{зд} p \left(\frac{T_{зд} p}{2} + 1\right)};$$

$$T_{зд} = \sqrt{\frac{(T_{ин})(\sigma_{ин} + \tau_y)}{1,618}} = 67,39 \text{ с}.$$

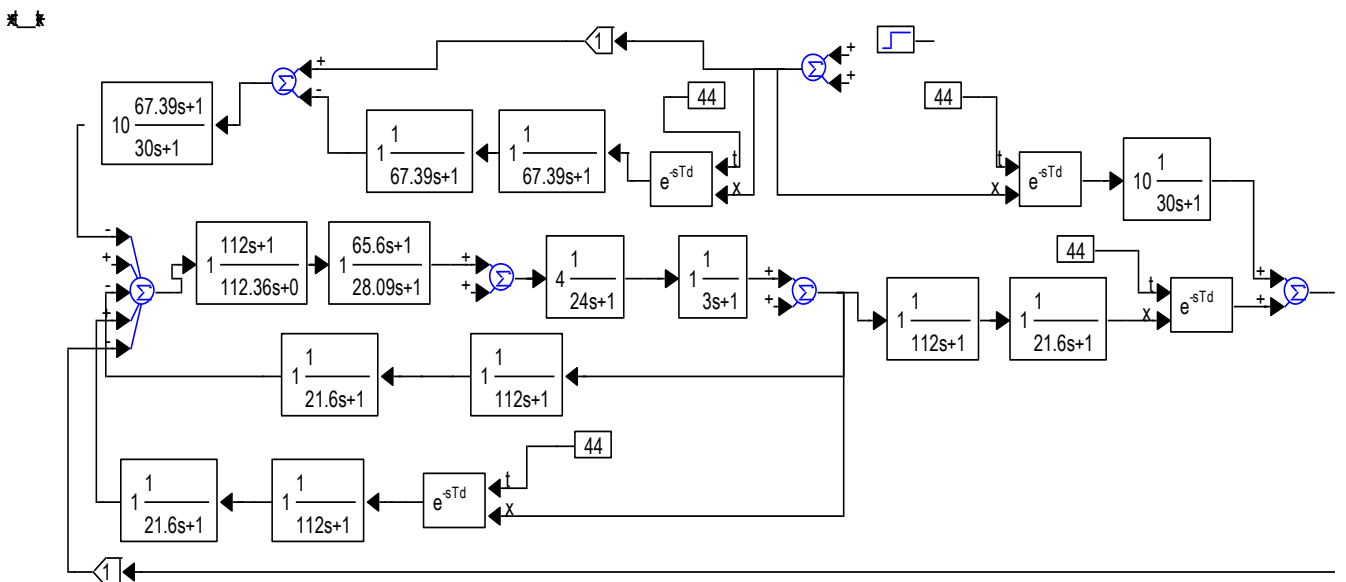


Рисунок 2. Структурная схема моделирования переходных процессов инвариантной САР при плановом изменении нагрузки

**Выводы:**

1. Типовая САР с параметрами динамической настройки по методам БНТУ [2] позволяет получить лучшее качество обработки основных воздействий по сравнению с зарубежными методами как европейскими, так и российскими.

2. Для существенного улучшения качества регулирования используем экспресс-методы структурно-параметрической оптимизации, в частности инвариантную САР при ПИН, которая обеспечивает лучшие показатели качества переходных процессов по сравнению с типовой САР с дифференциатором [3].

Графики переходных процессов:

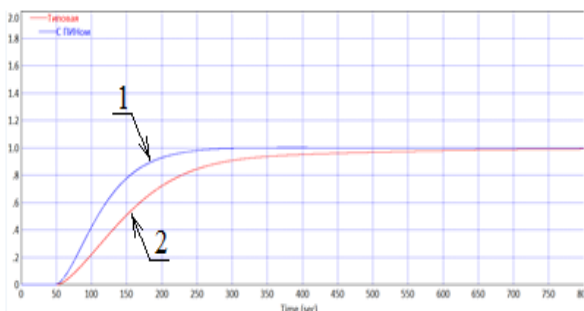


Рисунок 3. Отображение скачка задания  $x_{зд}$

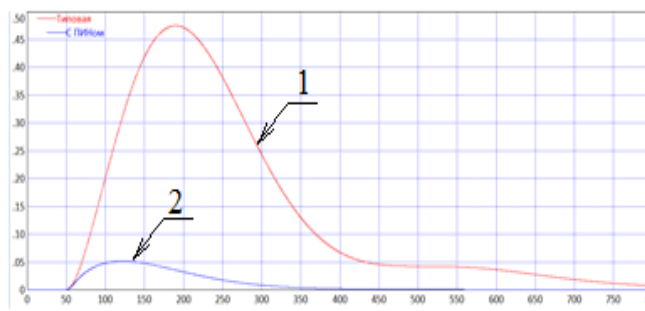


Рисунок 4. Отображение внутреннего возмущения  $f_1$

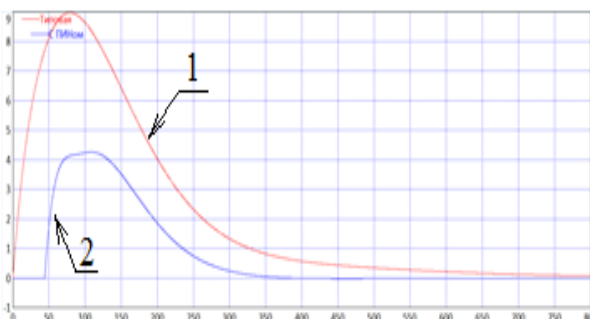


Рисунок 5. Отображение крайнего внешнего возмущения  $f_2$

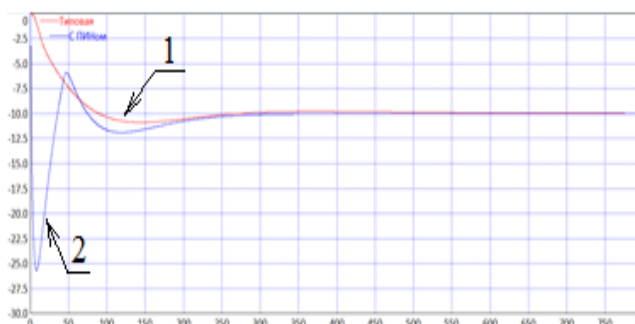


Рисунок 6. изменение регулирующего воздействия при обработке крайнего внешнего возмущения  $f_2$

- 1 – типовая САР с дифференциатором;
- 2 – инвариантная САР при ПИН.

Прямые показатели качества переходных процессов:

Таблица 1 - Отображение скачка задания

Наименование САР:	$t_p, c$	$\sigma_m, \%$	$\psi$
Типовая	800	-	-
Инвариантная с ПИНОм	300	-	-

Таблица 2 - При обработке внутреннего возмущения  $f_1$

Наименование САР:	$t_p, c$	$A_1^+$	$\psi$
Типовая	740	0,5	1
Инвариантная с ПИНОм	350	0,09	1

Таблица 3 - При обработке крайнего внешнего возмущения  $f_2$

Наименование САР:	$t_p, c$	$A_1^+$	$\psi$
Типовая	800	9	1
Инвариантная с ПИНОм	390	4,2	0.375

Таблица 4 - Изменение регулирующего воздействия Хр

Максимальная величина Хр:	Типовая	ПИН
Хр	-11	-26

ТабАнализ качества регулирования:

- При отработке Хзд время регулирования инвариантной САР уменьшилось в 2,5 раза по сравнению с ТСАР. При этом максимальная динамическая ошибка перерегулирования равна нулю.

- При отработке внутреннего возмущения  $f_1$  САР при ПИНе уменьшила время регулирования почти на 56 %, а максимальная динамическая ошибка регулирования сократилась на 45% по сравнению с ТСАР.

- При отработке крайнего внешнего возмущения  $f_2$  расходом пара, комбинированная САР при ПИНе уменьшила время регулирования почти на 52 %, при этом максимальная динамическая ошибка уменьшилась в 2,2 раза, а площадь ошибки регулирования уменьшилась в 1,7 раза.

### Литература

1. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов и вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.: ил.
2. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 192 с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.: ил.