

УДК 62.932.2

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САР ДАВЛЕНИЯ ПАРА ПЕРЕД ТУРБИНОЙ

Кравченко Д.П.

Научный руководитель – к.э.н., доцент Кравченко В.В.

При работе с прямоточным котлом САР давления пара перед турбиной входит в состав более сложной САУ мощности энергоблока. Поэтому в дальнейшем принимаем к разработке систему автоматического управления мощности блока (САУМБ). САУ мощности блока повышает надежность работы, являясь необходимым элементом обеспечения выработки и отпуска электроэнергии заданного качества потребителям.

САУ мощности блока обеспечивает:

- устойчивое качественное управление процессом во всем диапазоне изменения нагрузок энергоблока;
- в установившемся режиме заданную точность регулирования.

Рассмотрим два варианта реализации такой системы управления: 1 – с дифференциатором инвариантности; 2 – без дифференциатора инвариантности.

Исходные передаточные функции объекта управления.

$$W_1(p) = \frac{k_1 \cdot e^{\tau_1 \cdot p}}{(T_1 p + 1) \cdot (\sigma_1 p + 1)} = \frac{1.6 \cdot e^{-11.2 \cdot p}}{(101p + 1) \cdot (19p + 1)}; \quad (1)$$

$$W_2(p) = \frac{k_1 \cdot e^{\tau_2 \cdot p}}{(T_2 p + 1) \cdot (\sigma_2 p + 1)} = \frac{1.6 \cdot e^{-6.1 \cdot p}}{(56p + 1) \cdot (14p + 1)}; \quad (2)$$

$$W_3(p) = \frac{T_0 p \cdot (T_3 p + 1)}{(T_4 p + 1) \cdot (T_5 p + 1)} = \frac{169.8p \cdot (2.3p + 1)}{(168p + 1) \cdot (48p + 1)}; \quad (3)$$

$$W_4(p) = \frac{k_3 \cdot (T_6 p + 1)}{T_7 p + 1} = \frac{0.25 \cdot (4.6p + 1)}{90p + 1}. \quad (4)$$

На рисунке 1 приведена структурная схема типовой САУ мощности блока с дифференциатором инвариантности.

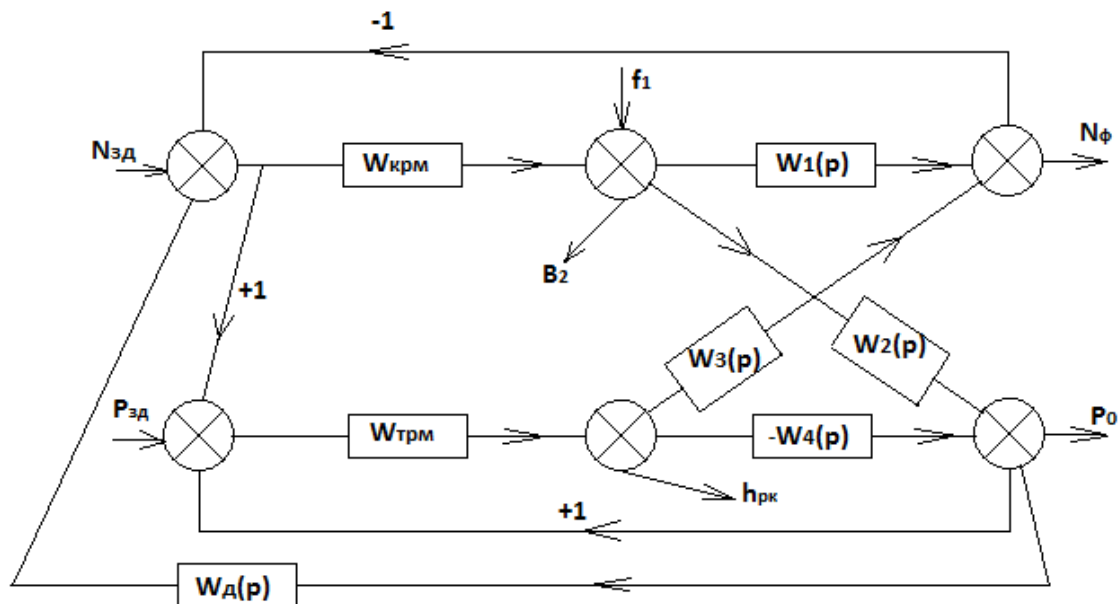


Рисунок 1. Структурная схема типовой САУ мощности блока с дифференциатором инвариантности:

$N_{зд}$ – заданная мощность энергоблока; $N_{ф}$ – фактическая мощность энергоблока; $P_{зд}$ – заданное давление пара перед турбиной; P_0 – давление пара перед турбиной; $h_{рк}$ – перемещение регулирующих клапанов турбины; $B_т$ – расход топлива; $W_{крм}$ – передаточная функция котельного регулятора мощности; $W_{трм}$ – передаточная функция турбинного регулятора мощности; W_d – передаточная функция дифференциатора инвариантности.

Находим параметры динамической настройки КРМ САУМБ (рисунок 1) по передаточной функции (1) по МПК в ЧВ при $\varepsilon = 1$ [2]:

$$W_{крм}(p) = \frac{k_p \cdot (T_i p + 1) \cdot (T_d p + 1)}{T_i p \cdot (T_6 p + 1)}; \quad (5)$$

$$T_i = T_1 = 101 \text{ с.} \quad (6)$$

$$T_d = \sigma_1 = 19 \text{ с.} \quad (7)$$

$$T_6 = \frac{\sigma_1}{10} = 1.9 \text{ с.} \quad (8)$$

$$k_p = \frac{T_1}{4 \cdot k_1 \cdot \tau_y} = \frac{101}{4 \cdot 1.6 \cdot 11.2} = 1.41. \quad (9)$$

$$W_{крм}(p) = \frac{1.41 \cdot (101p + 1) \cdot (19p + 1)}{101p \cdot (1.9p + 1)}. \quad (10)$$

Параметры динамической настройки ТРМ находим по передаточной функции (4) по формуле оптимального регулятора [2]:

$$W_4(p) = \frac{k_3 \cdot (T_6 p + 1)}{T_7 p + 1} = \frac{0.25 \cdot (4.6 p + 1)}{90 p + 1}; \quad (11)$$

$$W_{\text{ТРМ}}(p) = [W_4(p)]^{-1} \cdot W_{\text{зд}}^{\text{pc } n=1}(p) = \frac{k_d T_d p}{(T_d p + 1)(T_{\text{зд}} p + 1)}, \quad (12)$$

где

$$T_{\text{зд}} = \gamma \cdot T_6 = 0,618 \cdot 4.6 = 2.85 \text{ с}. \quad (13)$$

$$W_{\text{ТРМ}}(p) = \frac{4 \cdot (90 p + 1)}{(4.6 p + 1)(2.85 p + 1)}. \quad (14)$$

Параметры динамической настройки $W_d(p)$ САУМБ (рисунок 1) рассчитываем из условия [1]:

$$W_{p_0, h_{\text{рк}}}(p) \cdot W_d(p) = W_{N_\phi, h_{\text{рк}}}(p). \quad (15)$$

Принимаем

$$W_d(p) = 5.52 \frac{128.3 p}{128.3 p + 1}. \quad (16)$$

На рисунке 2 приведена структурная схема САУ мощности блока без дифференциатора инвариантности.

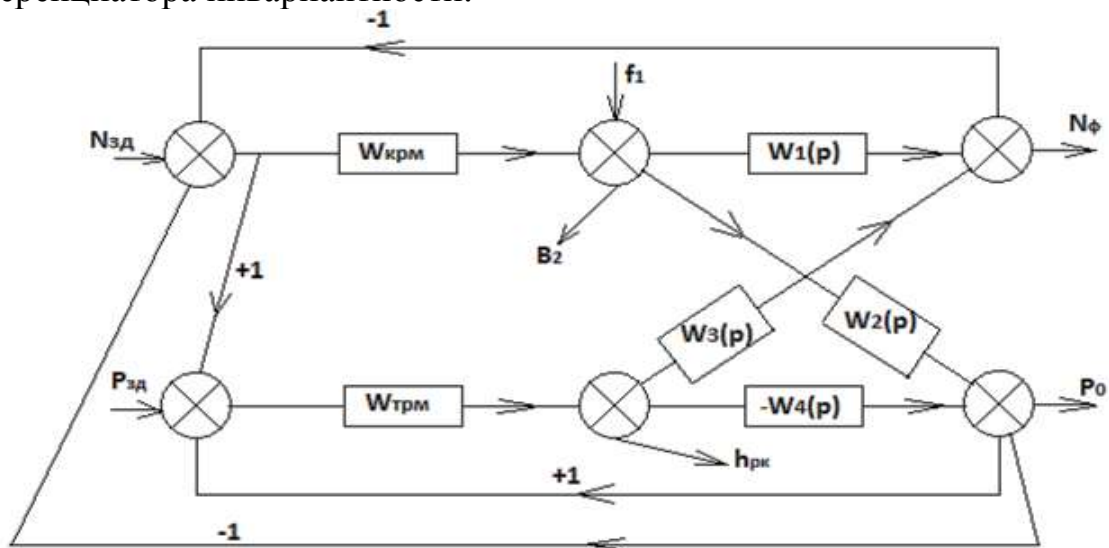


Рисунок 2. Структурная схема САУ мощности блока без дифференциатора инвариантности:

$N_{\text{зд}}$ – заданная мощность энергоблока; N_ϕ – фактическая мощность энергоблока; $P_{\text{зд}}$ – заданное давление пара перед турбиной; P_0 – давление пара перед турбиной; $h_{\text{рк}}$ – перемещение регулирующих клапанов турбины; $B_{\text{т}}$ – расход топлива; $W_{\text{крм}}$ – передаточная функция котельного регулятора мощности; $W_{\text{трм}}$ – передаточная функция турбинного регулятора мощности.

Параметры оптимальной динамической настройки КРМ и ТРМ САУМБ оставляем прежними.

Графики переходных процессов исследуемых САУ мощности блока при основных воздействиях приведены на рисунке 3.

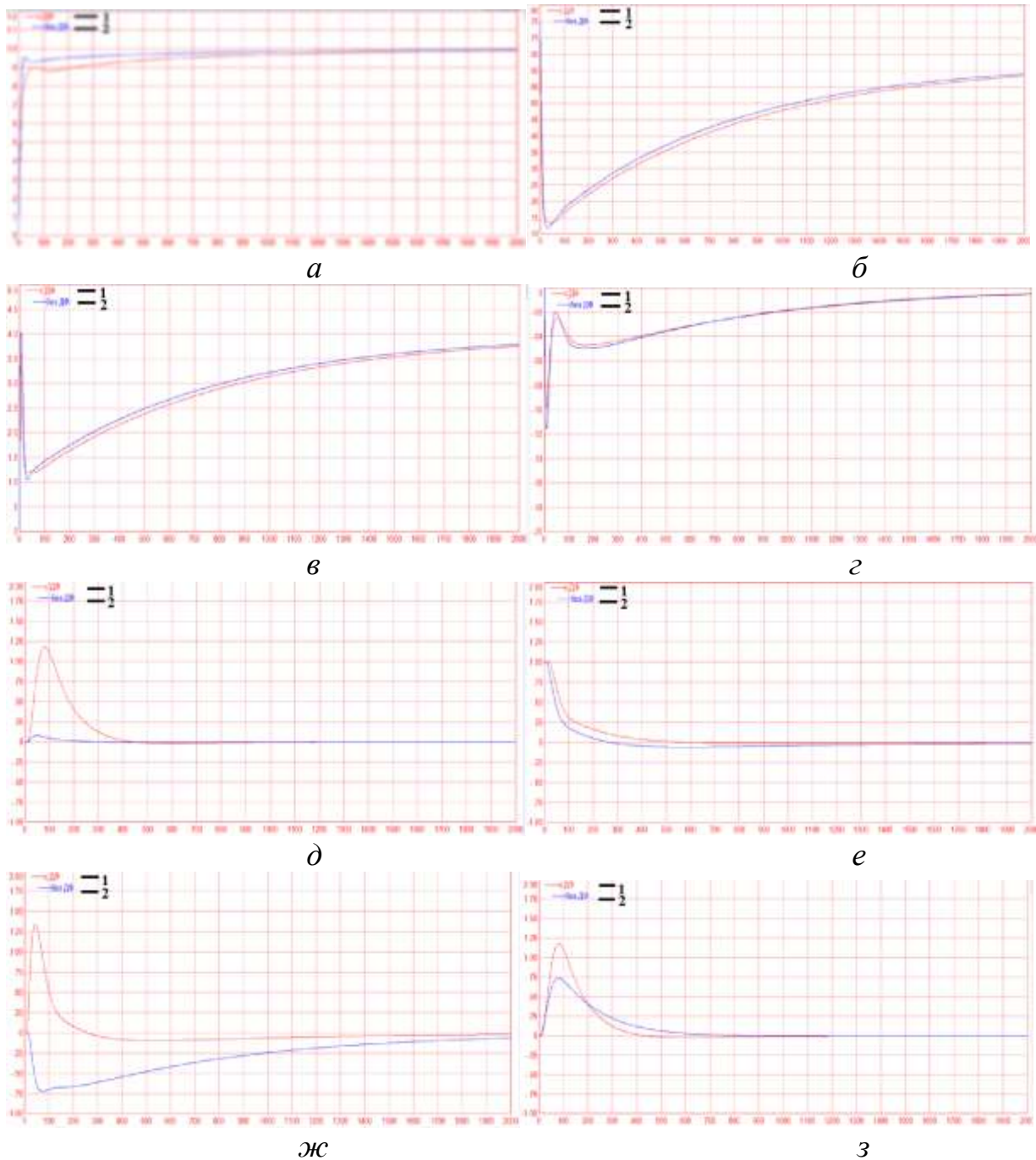


Рисунок 3. Графики переходных процессов, исследуемых САУ мощности блока при основных воздействиях:

а— фактическая мощность при отработке скачка задания; *б* – расход топлива при отработке скачка задания; *в* – перемещение регулирующих клапанов турбины при отработке скачка задания; *г* – давления перегретого пара перед турбиной при отработке скачка задания; *д* – фактическая мощность при внутреннем возмущении; *е* – расход топлива при внутреннем возмущении; *ж* – перемещение регулирующих клапанов турбины при внутреннем возмущении; *з* – давления перегретого пара перед турбиной при внутреннем возмущении. (1 – САУМБ с дифференциатором инвариантности, 2 – САУМБ без дифференциатора инвариантности).

Сравнение прямых показателей качества переходных процессов обоих вариантов реализации САУМБ сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1-Прямые показатели качества при отработке скачка задания

$x_{зд}$	N_{Φ}		B_T			$h_{рк}$			P_0	
	t_p, c	t_1, c	A_1	A_2	$\frac{A_1}{A_2}$	C_1	C_2	$\frac{C_1}{C_2}$	МД ОР	t_p, c
С Дф	1340	4.15	0.75	0.62	1.2	3.6	4	0.9	0.09 8	950
Без Дф	790	3.95	0.75	0.62	1.2	4	4	1	0.11 5	930

Таблица 2-Прямые показатели качества при отработке скачка внутреннего возмущения

f_1	N_{Φ}		B_T	$h_{рк}$	P_0	
	t_p, c	МДОР	t_2, c	$\max h_{рк}$	МДОР	t_p, c
С Дф	395	1.18	560	1.35	0.7	950
Без Дф	163	0.08	360	-0.72	0.735	930

В таблицах использованы следующие обозначения: t_p – полное время регулирования; t_1 – время отработки 30% от скачка задания; A_1 – max изменение расхода топлива при $t=0$; A_2 – установившееся значение расхода топлива при $t = \infty$; A_1/A_2 – максимальное относительное изменение расхода топлива при отработке скачка задания; C_1 – максимальное перемещения регулирующих клапанов турбины в момент $t=0$; C_2 – установившееся значение перемещения регулирующих клапанов при отработке скачка задания в момент времени $t = \infty$; C_1/C_2 – относительное изменение положения регулирующих клапанов турбины; МДОР – максимальная динамическая ошибка регулирования; t_2 – время когда расход топлива впервые достигает исходного состояния; $\max h_{рк}$ – максимальная динамическое отклонение положения регулирующих клапанов турбины от исходного состояния.

Выводы

Из анализа графиков переходных процессов обоих САУМБ при отработке скачка задания и внутреннего возмущения следует что в основном лучшие прямые показатели качества обеспечивает САУМБ без дифференциатора инвариантности:

1. При отработке скачка задания полное время регулирования САУМБ без дифференциатора инвариантности в 1,7 раза меньше чем у САУМБ с дифференциатором инвариантности. При этом максимальное относительное изменение расхода топлива осталось одинаковое и равно 1,2. Причем относительное изменение положения регулирующих клапанов турбины в

САУМБ с дифференциатором инвариантности составило 0,9, а в САУМБ без дифференциатора инвариантности – 1. При этом максимальная динамическая ошибка регулирования давления пара перед турбиной примерно одинаковое, однако время регулирования в САУМБ без дифференциатора инвариантности составило 930 с вместо 950с в САУМБ с дифференциатором инвариантности.

2. При отработке скачка внутреннего возмущения время отработки фактической мощности уменьшилось в САУМБ без дифференциатора инвариантности в 2,4 раза по сравнению с САУМБ с дифференциатором инвариантности, а максимальная динамическая ошибка регулирования уменьшилась в 14,7 раза. При этом первое время достижения исходного состояния расхода топлива в САУМБ без дифференциатора инвариантности составило 360 с против 560 с у САУМБ с дифференциатором инвариантности, а максимальное динамическое отклонение положения регулирующих клапанов турбины уменьшилось в САУМБ без дифференциатора инвариантности в 1,87 раза. Причем максимальная динамическая ошибка по давлению пара перед турбиной в обоих вариантах примерно одинаковая, однако полное время регулирования САУМБ без дифференциатора инвариантности уменьшилось на 2,1 %.

3. Так как дифференциатор инвариантности предназначен для обеспечения независимости работы котельного регулятора мощности при «плохой» работе регулятора давления пара перед турбиной при постоянной нагрузке энергоблока, вызванной, например, вибрацией одного из клапанов турбины, то дифференциатор инвариантности целесообразно подключать к САУМБ только в режиме постоянной нагрузки энергоблока, а в переменных режимах использовать САУМБ без дифференциатора инвариантности.

Литература

1. Кулаков Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчёта промышленных систем регулирования. – М.: Высшая школа, 1984. – 192 с.
2. Кулаков Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Высшая школа, 2017. – 238 с.