

УДК 681.51

ОПТИМИЗАЦИЯ КАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА С КОРРЕКТИРУЮЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Салькевич Я.А., Миргород Ю.С.

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

Оборудование и различные технологические процессы на атомной электростанции являются сложными и имеют ряд особенностей, отличающих их на АЭС от ТЭС на органическом топливе. К таким особенностям можно отнести:

- 1) работа оборудования в условиях мощных радиационных полей, повышенных давлений и температур, при наличии быстропротекающих ядерно-физических и тепловых процессов;
- 2) отсутствие доступа к большей части оборудования в процессе работы установки и спустя некоторое время после ее останова из-за существующей повышенной опасности радиационного поражения обслуживающего персонала;
- 3) необходимость обеспечения безопасности АЭС как при нормальной эксплуатации, так и при авариях.

Все эти особенности делают АЭС сложным объектом управления, который требует высокой степени автоматизации оборудования, применения современной вычислительной техники, а также высоконадежной и эффективной системы управления.

АСУ ТП АЭС – это такая система управления, где главным является человек-оператор, который осуществляет управление технологическим процессом с использованием соответствующих технологических подсистем АСУ ТП [1].

В данной работе будет произведен обзор и выбор оптимальной САУ уровня воды в барабане парогенератора.

Исторически сложилось, что САУ регулятора питания парогенератора (уровня воды в барабане парогенератора) является типовой САУ с ПИ-регулятором и тремя импульсами (датчик расхода пара, датчик расхода питательной воды и датчик уровня воды в барабане парогенератора).

Структурная схема типовой САУ уровня воды в барабане парогенератора представлена на рис. 1.

Данная схема представляет собой иллюстрацию двух принципов регулирования. Уровень в барабане парогенератора H зависит от соотношения двух расходов – расхода пара D и расхода питательной воды $W_{пв}$. Расход пара зависит от потребителя, поэтому подается на вход измерительного блока $+x_{зд}$ с ЗРУ. Расход питательной воды $W_{пв}$ зависит от уровня расхода пара, при этом изменение расхода питательной воды осуществляется регулированием степени открытия регулирующего питательного клапана. Поэтому данная САУ является следящей.

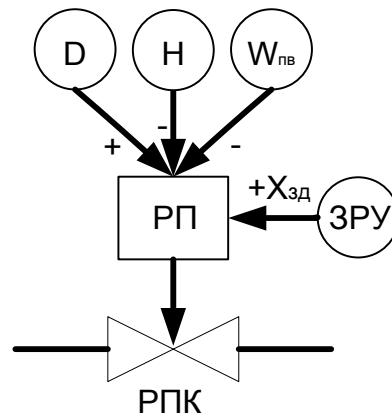


Рисунок 1. Структурная схема типовой трехимпульсной САУ регулятора питания

Моделирование переходных процессов крайнего внешнего возмущения проводится для случая, когда за крайнее внешнее возмущение принимается явление набухания уровня в барабане парогенератора при изменении нагрузки f_2 .

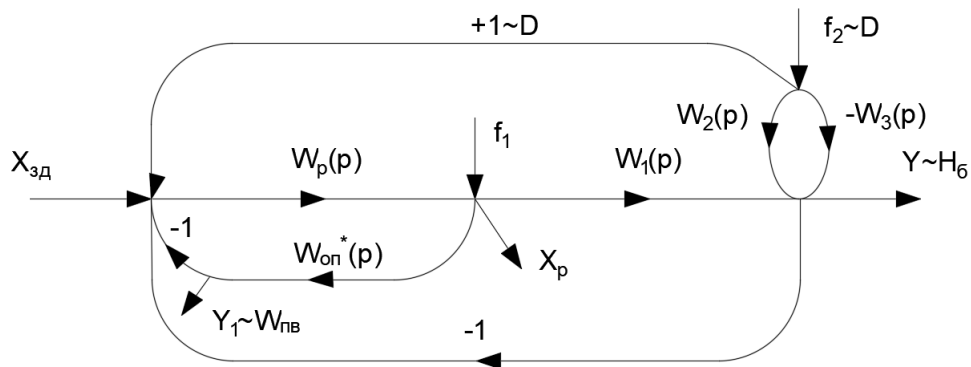


Рисунок 2 – Структурная схема трехимпульсной САУ

На рисунке 2 были приняты следующие обозначения: Y – основная регулируемая величина; $X_{зд}$ – заданное значение регулируемого параметра; W_p – передаточная функция регулятора; f_1 – внутреннее возмущение; X_p – регулирующее воздействие; f_2 – крайнее внешнее возмущение по расходу перегретого пара; W_2 – передаточная функция ИЗПП; W_3 – передаточная функция ИИЗ

При моделировании данной САУ в программе Altair Embed за основные исходные данные был принят $T_1=22$ с; $\tau_1 = 38$ с; ; $K_2=0,74$; $T_2=19,5$ с; $T_3=66$ с; $K_{оп}=1,3$; $T_{оп}=4,95$ с; $\sigma_{оп}=0,55$ с; $T_{оп}^*=5,5$ с.

Расчет параметров оптимальной динамической настройки:

- 1) Передаточная функция объекта регулирования:

$$W_1(p) = \frac{1}{T_1 p (\tau_1 p + 1)} = \frac{1}{836 p^2 + 22 p};$$

- 2) Передаточная функция опережающего участка:

$$W_{оп}^*(p) = \frac{K_{оп}}{T_{оп}^* p + 1} = \frac{1,3}{5,5 p + 1}.$$

3) Передаточная функция оптимального регулятора:

$$W_p^{opt}(p) = \frac{T_{on}^* p + 1}{K_{on} T_{301} p}; T_{301} = T_{on}^* \cdot \gamma;$$

где $\gamma = 0,618; 0,318; \dots, 0,09;$

$$W_p^{0,618}(p) = \frac{5,5p+1}{4,4187p}; W_p^{0,382}(p) = \frac{5,5p+1}{2,101p}; W_p^{0,09}(p) = \frac{5,5p+1}{0,495p};$$

4) Передаточные функции моделирования процесса набухания:

$$W_2(p) = \frac{K_2}{T_2 p + 1} = \frac{0,74}{19,5p+1}; W_3(p) = \frac{1}{T_3 p} = \frac{1}{66p};$$

Сравнение оптимальных параметров динамической настройки типовой и каскадной САУ приведены на рисунках 3–5.

Таблица 1

Прямые показатели качества трехимпульсной САУ

Возмущение	$t_p, \text{сек}$	$\sigma_{max}, \%$	Δ	A_{max}	ψ
$\gamma = 0,618$					
y, x_{30}	270,3	19,2	–	–	0,964
y, f_1	211,4	–	–	0,075	0,964
y, f_2	266,2	–	0,5665	0,59	1
x_p, f_2	–	–	–	1,24	–
$\gamma = 0,382$					
y, x_{30}	265,6	17,6	–	–	0,972
y, f_1	194,9	–	–	0,067	0,896
y, f_2	157,1	–	0,5665	0,588	1
x_p, f_2	–	–	–	2,01	–
$\gamma = 0,090$					
y, x_{30}	256,7	15,7	–	–	0,974
y, f_1	0	–	–	0,011	0,975
y, f_2	167,6	–	0,5665	–	1
x_p, f_2	–	–	–	8,55	–

Проанализировав таблицу прямых показателей качества типовой САУ (табл. 1) можно сделать вывод, что при уменьшении величины γ уменьшается время регулирования и величина перерегулирования, но растет величина регулирующего воздействия. Наилучшие результаты по времени регулирования $t_p = 256,7c$ при $\gamma=0,09$. А по регулирующему воздействию $A_{max} = 1,24$ при $\gamma=0,618$. Поэтому за оптимальную примем САУ при $\gamma=0,382$.

Для улучшения прямых показателей качества системы автоматического управления при моделировании используется каскадная САУ с корректирующими регуляторами: РПИД-1, РПИД-2 и РПД.

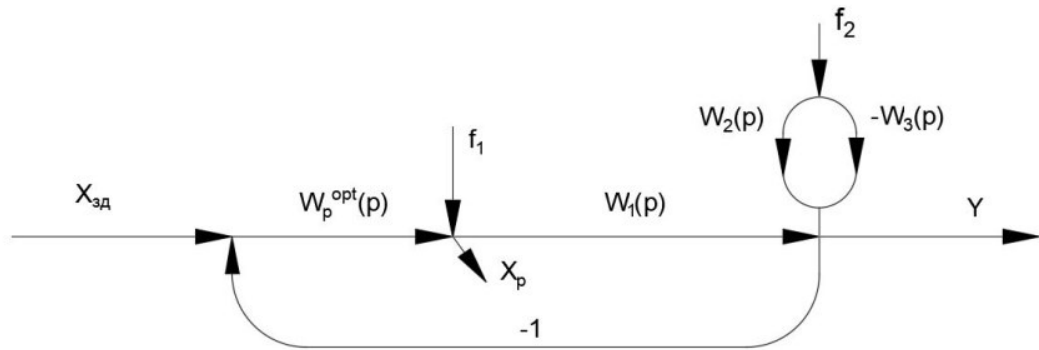


Рисунок 2. Структурная схема каскадной САУ с корректирующим регулятором

В каскадной САУ структура корректирующего регулятора выбирается исходя из передаточной функции оптимального регулятора, в котором запаздывание в передаточная функция объекта регулирования было заменено инерционным звеном первого порядка.

Расчёт параметров оптимальной динамической настройки:

1) Передаточная функция объекта регулирования рассчитывается также как и для типовой.

2) Передаточные функции моделирования процесса набухания рассчитываются также как и для типовой.

3) Передаточная функция корректирующего регулятора:

3.1) РПИД-регулятор:

$$W_{p1}^{opt}(p) = [W_1^{**}(p)]^{-1} \cdot W_{301}^{pc(n=1)}(p) = \frac{(T_1 p + 1)(\tau_1 p + 1)}{2T_{302} p \left(\frac{T_{302}}{2} p + 1 \right)},$$

где $T_{302} = \gamma \cdot \tau_1$. Оптимальной будет САУ при $\gamma = 0,09$.

$$W_{p1}^{0,09}(p) = \frac{836p^2 + 60p + 1}{11,696p^2 + 6,84p}.$$

3.2) РПИД-регулятор, настроенный по МПК в ЧВ:

$$W_p^{opt}(p) = \frac{k_{p2} (T_{u2} p + 1)(T_o p + 1)}{T_{u2} p (T_o p + 1)},$$

где $k_{p2} = \frac{T_1}{2 \cdot \tau_1}$; $T_{u2} = T_1$; $T_o = \tau_1$; $T_o = \frac{T_o}{10}$;

$$k_p = \frac{22}{2 \cdot 38} = 0,289; T_{u2} = 22 \text{ с}; T_o = 38 \text{ с}; T_o = \frac{38}{10} = 3,8 \text{ с};$$

$$W_p^{opt}(p) = \frac{0,289(836p^2 + 60p + 1)}{83,6p^2 + 22p}.$$

3.3) РПД-регулятор:

$$W_p^{0,09}(p) = \frac{T_1}{2T_{302}} \cdot \frac{\tau_1 p + 1}{\frac{T_{302}}{2} p + 1} = \frac{836p + 22}{11,696p + 6,84}.$$

Проанализировав три варианта настройки каскадной САУ, сделаем заключение, что оптимальной является САУ с корректирующим реальным ПД-регулятором при $\gamma=0,09$.

Таблица 2

Прямые показатели качества каскадной САУ с реальным ПД-регулятором

Возмущение	t_p , сек	σ_{max} , %	Δ	A_{max}	ψ
$\gamma = 0,09$					
$y, x_{зд}$	24,6	-	—	—	-
y, f_1	42,8	—	—	0,291	-
y, f_2	96,4	—	—	-0,513	-
x_p, f_2	—	—	—	-23,35	—

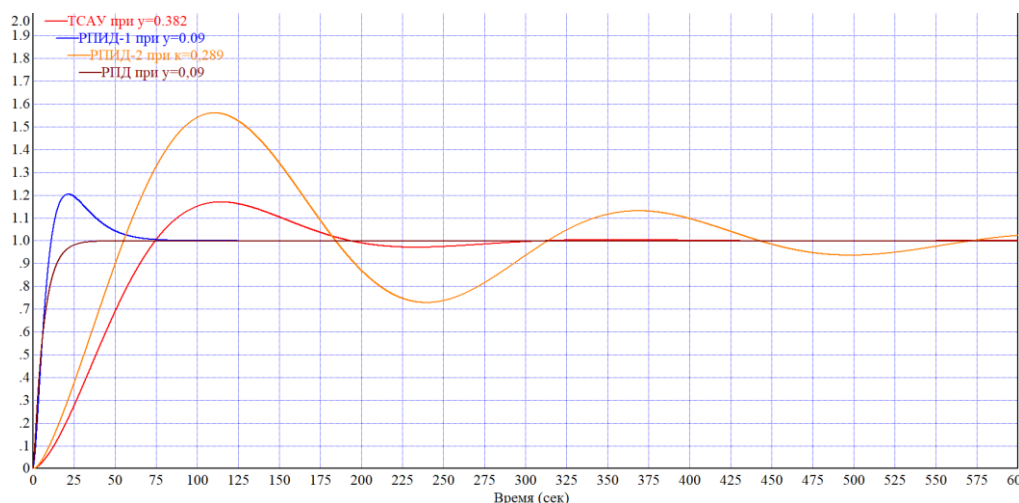


Рисунок 3. Отработка скачка задания $X_{зд}$

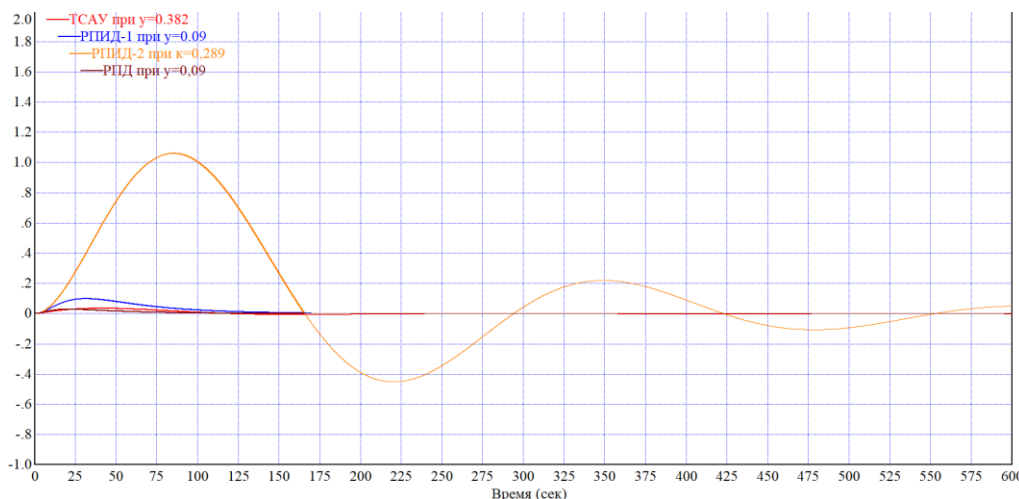


Рисунок 4. Отработка внутреннего возмущения f_1

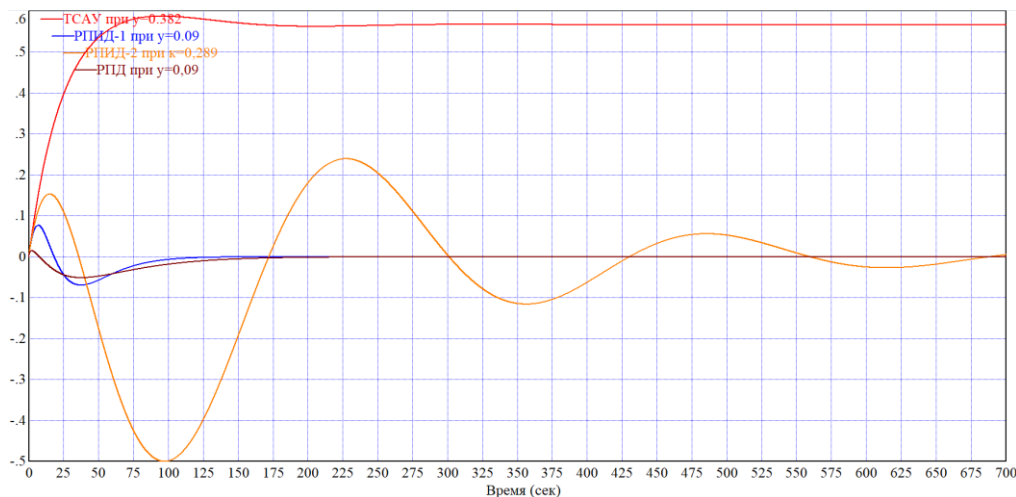


Рисунок 5. Отработка внешнего возмущения f_2

По итогам проделанной работы можно сделать вывод, что наилучшие показатели качества при моделировании САУ уровня воды в барабане ПГ будут достигнуты при использовании каскадной САУ с корректирующим ПД-регулятором при $\gamma=0,09$, так как при использовании каскадной САУ время регулирования при отработке скачка задания было уменьшено с 265,6 с до 24,6 с, при отработке f_2 уменьшено с 167,1 с до 94,6 с и была устранена статическая ошибка при отработке f_2 путем установки усилительного звена с коэффициентом усиления равным по значению, но противоположным по знаку статической ошибке.

Литература

1 Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 572 с.