

2. Несенчук, А.А. Моделирование динамики и расчет робастных параметров системы управления электропривода на основе корневых портретов / А.А. Несенчук, О.Ф. Опейко, Д.С. Однолько // Искусственный интеллект. – 2014. – № 3. – С. 90 – 103.

3. Несенчук, А.А. Корневой метод синтеза устойчивых полиномов путем настройки всех коэффициентов / А.А. Несенчук // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 8. – С. 13–24.

4. Несенчук, А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А. А. Несенчук. – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 234 с.

5. Опейко, О.Ф Подчиненное управление объектом с параметрической неопределенностью / О.Ф. Опейко // Системный анализ и прикладная информатика, №3, 2015. – с.21-24.

6. Римский, Г.В. Автоматизация исследований динамических систем / Г.В. Римский, В.В. Таборовец.– Мн.: Наука и техника, 1978.– 336 с.

УДК 621.52

## СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА 300 МВТ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗОК

**Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И.**

Белорусский национальный технический университет

В 1980-х годах под руководством к.т.н., доцента Кулакова Г.Т. Южным отделением «Южтехэнерго», БЭРН, БПИ (БГПА) была разработана и внедрена система автоматического управления мощностью блока (САУМБ) на восьми энергоблоках Лукомльской ГРЭС [1]. Структурная схема типовой САУМБ приведена на рисунке 1.

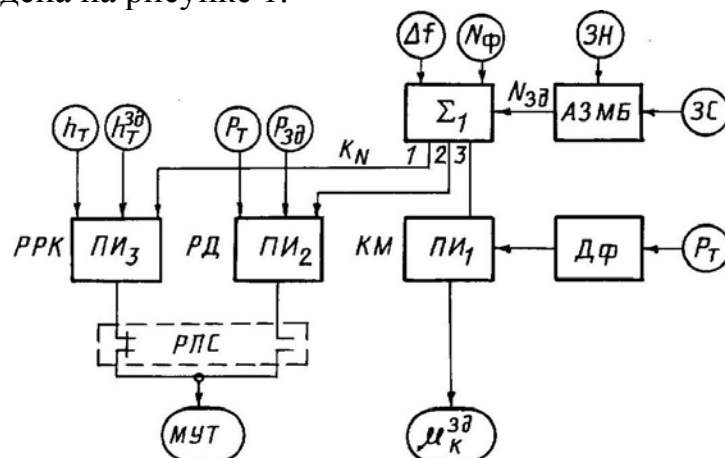


Рисунок 1 – Структурная схема типовой САУМБ энергоблока

На рис. 1 использованы следующие обозначения: АЗМБ – автоматический задатчик мощности блока; ЗН – задатчик нагрузки; ЗС – задатчик скорости;  $N_{зд}$  – заданное значение мощности энергоблока;  $N_{\phi}$  – фактическая электрическая мощность;  $\Sigma_1$  – сумматор измерительного блока;  $\Delta f$  – частота электрической сети;  $K_N$  – весовой коэффициент; КМ – котельный регулятор мощности;  $\mu_k^{зд}$  – задание регулятором нагрузки котла; РРК – стабилизатор положения регулирующих клапанов; РД – регулятор давления; МУТ – механизм управления турбиной; РПС – реле переключения состояния;  $p_T$  – давление перегретого пара перед турбиной;  $p_{зд}$  – заданное давление перегретого пара перед турбиной;  $h_T^{зд}$  – заданное значение положения регулирующих клапанов турбины;  $h_T$  – положение регулирующих клапанов турбины;  $D_{\phi}$  – дифференциатор инвариантности; ПИ<sub>1</sub>, ПИ<sub>2</sub>, ПИ<sub>3</sub> – пропорционально-интегральные регуляторы.

В ходе работ по подпрограмме «Энергетическая безопасность и надежность энергетических систем» программы ГПИ «Энергетические системы, процессы и технологии» на основе методов структурно-параметрической оптимизации была предложена структурная схема САУМБ [2, 3] приведенная на рисунке 2.

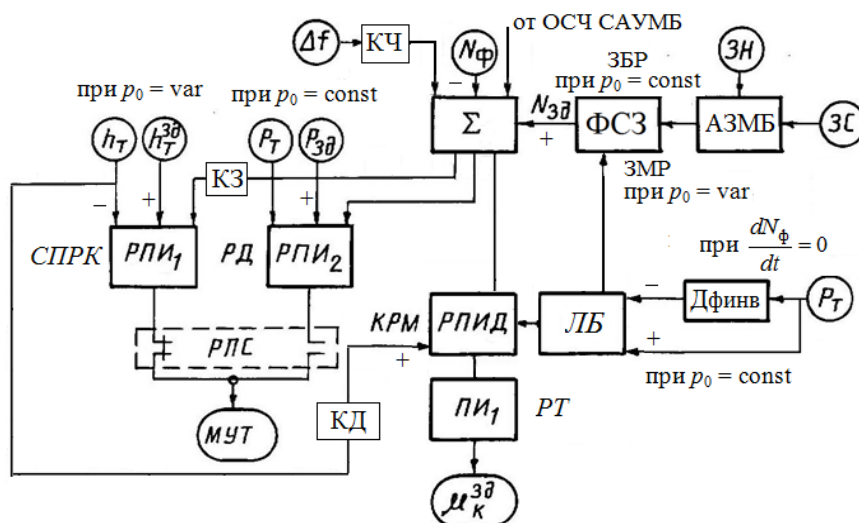


Рисунок 2 – Структурная схема предложенной САУМБ энергоблока

Здесь использованы следующие обозначения: ФСЗ – формирователь сигнала задания; ЗБР – звено быстрого реагирования; ЗМР – звено медленного реагирования; ОСЧ САУМБ – общестанционная часть; КЧ – корректор частоты; ЛБ – логический блок; РПИД – реальный ПИД-регулятор; РТ – регулятор топлива; КД – компенсатор динамики  $N_{\phi}$  при изменении положения  $h_T$ ; РПИ<sub>1</sub>, РПИ<sub>2</sub> – реальные ПИ-регуляторы; СПРК – стабилизатор положения регулирующих клапанов; КЗ – корректор задания.

В предлагаемой САУМБ котельный регулятор мощности (КРМ) и регулятор топлива (РТ) – это каскадная система автоматического управления.

В этой схеме котельный ПИД-регулятор настраивают на оптимальную обработку сигнала задания, а стабилизирующий ПИ-регулятор топлива – на оптимальную обработку внутреннего возмущения [2, 3].

Структуру турбинных регуляторов мощности (ТРМ) формируют на основе передаточных функций оптимальных регуляторов с использованием передаточной функции по давлению перегретого пара или иввиоля при возмущении изменением положения регулирующих клапанов турбины [2, 3].

Передаточную функцию формирователя сигнала задания представляют в виде звена быстрого реагирования в режиме постоянного давления пара перед турбиной или в виде звена медленного реагирования при переменном давлении пара [2, 3].

В диапазоне от 100 до 70 % номинальной мощности датчик давления пара перед турбиной подключён ко входу КРМ положительной обратной связью, а в режиме скользящего давления отключен от входа КРМ, к которому через КД подключён датчик  $h_T$  [2, 3]. При этом ошибка регулирования на входе в КРМ подаётся на вход ТРМ через корректор задания КЗ.

Прямые показатели качества переходных процессов предлагаемой и типовой САУМБ в режиме постоянного и переменного давления пара перед турбиной приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Прямые показатели качества переходных процессов предлагаемой и типовой САУМБ в режиме постоянного давления пара перед турбиной

САУМБ	Вид возмущения	$t_p, c$	$\Delta B^m_T$	$\Delta h^m_{рк}$	$\Delta p^m_0$	$\Delta N^{f1}_{ф, м}$
Предлагаемая	$N_{зд}$	25	1,1	1,0	0,12	-
	$f_1$	250	0,122	0,009	0,0065	0,0014
Типовая	$N_{зд}$	480	1,5	1,6	- 0,03	-
	$f_1$	600	0,1	0,02	0,03	0,023

Таблица 2 – Прямые показатели качества переходных процессов предлагаемой и типовой САУМБ в режиме переменного давления пара перед турбиной

САУМБ	Вид возмущения	$t_p, c$	$\Delta B^m_T$	$\Delta h^m_{рк}$	$\Delta p^m_0$	$\Delta N^{f1}_{ф, м}$
Предлагаемая	$N_{зд}$	25	1,283	+ 0,115	1,037	-
	$f_1$	130	0,114	- 0,02	+ 0,01	0,0014
Типовая	$N_{зд}$	720	1,4	+ 0,1	1,0	-
	$f_1$	1840	0,403	- 0,261	+ 0,258	0,036

Обозначения:  $t_p$  – время регулирования;  $\Delta B^m_T$  – относительное максимальное изменение расхода топлива;  $\Delta h^m_{рк}$  – относительное максимальное изменение положения регулирующих клапанов турбины;  $\Delta p^m_0$  – максимальное отклонение давления перегретого пара перед турбиной;  $\Delta N^{f1}_{ф, м}$

– максимальное отклонение фактической мощности при внутреннем возмущении.

Предложенный вариант САУМБ позволяет существенно улучшить показатели качества управления в режимах постоянного и переменного давления пара перед турбиной по сравнению с типовой САУМБ.

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т.Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017.– 238 с.: ил.

2. Кулаков, Г. Т. Параметрическая оптимизация системы автоматического управления мощностью энергоблоков 300 МВт в режиме постоянного давления пара перед турбиной / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков, К. И. Артёменко // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2018. – № 5. – С. 451–462.

3. Кулаков, Г. Т. Параметрическая оптимизация системы автоматического управления мощностью энергоблоков 300 МВт в режиме переменного давления пара перед турбиной / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков, К. И. Артёменко // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2018. – № 6. – С. 540–551.

УДК 621.52

## **МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА**

**Кулаков Г.Т., Артёменко К.И.**

Белорусский национальный технический университет

Известно, что чрезмерное увеличение постоянной времени  $T_{им}$  электрического исполнительного механизма (ИМ) может вывести регулятор при больших возмущениях в режим постоянной скорости, увеличив отклонение регулируемой величины и полное время регулирования. Чрезмерное уменьшение  $T_{им}$  улучшает качество регулирования, но вызывает повышение частоты включения сервомотора в пульсирующем режиме, уменьшая продолжительность каждого включения и увеличивая вредные влияния выбега сервомотора.

При этом для случая, когда максимальное возмущение эквивалентно половине хода сервомотора, оптимальные значения  $T_{им}$  можно определить из следующих соотношений:

– для П- и ПИ-регуляторов:  $T_{им} \approx (1 \div 4) \tau$ ,  $T_{им.опт} \approx 2 \tau$ ;

– для ПИД-регулятора:  $T_{им} \approx (0,75 \div 2) \tau$ ,  $T_{им.опт} \approx \tau$ ,

где  $\tau$  – запаздывание объекта по каналу регулирующего воздействия [1].

В методе полной компенсации в общем виде в качестве критерия оптимальности при отработке скачка задания используется передаточная