

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКОВ 300 МВт ЛУКОМЛЬСКОЙ ГРЭС

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Лукомльская ГРЭС – крупнейшая тепловая электростанция Республики Беларусь, которая привлекается к регулированию частоты и перетоков мощности. В 80-х годах прошлого века типовая система автоматического управления мощностью энергоблока (САУМБ), первая и вторая её модификации были разработаны и внедрены на восьми энергоблоках 300 МВт Лукомльской ГРЭС Южным отделением «Южтехэнерго», БЭРН, БПИ, БГПА под руководством к. т. н., доцента Кулакова Г.Т.

В настоящее время САУМБ не удовлетворяют требованиям современных стандартов, регламентирующих нормы участия энергоблоков ТЭС в нормированном первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков мощности [1]. На рисунке 1 изображена функциональная схема предлагаемой САУМБ 300 МВт, на которой красным цветом обозначены её отличия от типовой системы.

На рис. 1 использованы следующие обозначения: ЦУВМ – планируемая центральная управляющая вычислительная машина; ОСЧ САУМС – общестанционная часть системы автоматического управления мощности электростанции; ПУ – переключающее устройство; АЗМБ – автоматический задатчик мощности блока; ЗН – задатчик нагрузки; ЗС – задатчик скорости; I – базовый режим работы САУМБ; II – регулирующий режим работы САУМБ; N_3 – заданное значение мощности энергоблока; N_3^{ϕ} – то же в базовом режиме; N_3^P – то же в регулирующем режиме; N_{ϕ} – фактическая электрическая мощность энергоблока; Д_з – дифференциатор задатчика мощности; Σ – сумматор; Δf – частота электрической сети; КЧ – корректор частоты; РРК – стабилизатор положения регулирующих клапанов; РД – регулятор давления; МУТ – механизм управления турбиной; РПС – реле переключения структуры; p_T – давление перегретого пара перед турбиной; $p_T^{3д}$ – заданное значение давления перегретого пара перед турбиной; Д_{ин} – дифференциатор инвариантности; $p_{ив}$ – давление иввиоля; TV – трансформатор напряжения; ТА – трансформатор тока; ЦВД, ЦСД, ЦНД – соответственно цилиндр высокого, среднего и низкого давления турбины; ВПП – вторичный пароперегреватель; РКТ – регулирующие клапаны турбины; СК – стопорный клапан; $G_{впр}$ – расход воды на впрыск; V_T – расход топлива; $t_{врч}^{II}$ – температура за верхней радиационной частью котла; КТП – корректор температуры пара за ВРЧ-II; КРМ – котельный регулятор мощности; РТ – регулятор топлива; К_{оп} –

пара перед турбиной – РРК. В режиме постоянного давления пара перед турбиной РД поддерживает давление возле его номинального значения, а изменение мощности энергоблока достигается перемещением регулирующих клапанов турбины. В режиме переменного давления пара перед турбиной РРК удерживает регулирующие клапаны в турбины в полностью открытом состоянии, а изменения мощности энергоблока достигается изменением давления перегретого пара перед турбиной. Первый МУТ воздействует на регулирующие клапаны турбины. Дифференциатор инвариантности необходим для формирования сигнала о скорости изменения давления перегретого пара перед турбиной. Второе РПС в режиме постоянного давления пара перед турбиной подает сигнал о скорости изменения давления на вход КРМ, а в режиме переменного давления пара перед турбиной – на вход РРК. Входными воздействиями для регулятора питания являются расход питательной воды и сигналы с выходов КРМ и КТП. РП управляет регулирующим питательным клапаном. Входными воздействиями для регулятора ПТН являются давления питательной воды и перегретого пара перед турбиной, а также управляющее воздействие КРМ. РПТН подключен ко второму МУТ, который управляет питательным турбонасосом.

При отключении АЗМБ задание по мощности для энергоблока формируется ОСЧ САУМС, которая может действовать по сигналу планируемой ЦУВМ энергосистемы. УКПДН необходимо для изменения параметров динамической настройки КРМ, РРК и РД при уменьшении или увеличении нагрузки энергоблока.

Для сравнения с предлагаемой САУМБ будем использовать САУМ-1, установленную на энергоблоке № 4 Конаковской ГРЭС (Россия) [3], которая является лучшим иностранным аналогом. Всероссийский теплоэнергетический институт провел на нём испытания для определения динамических характеристик энергоблока, а затем на основе этих данных была настроена САУМ-1 и проведены её модельные исследования.

Сравнивать предлагаемую САУМБ с иностранным аналогом будем при скачке задания по мощности на 10 % в режимах постоянного и переменного давления пара перед турбиной. Прямые показатели качества переходных процессов при данном виде возмущения сведены в таблицу 1 (вариант 1 – предлагаемая САУМБ; вариант 2 – САУМ-1).

Таблица 1. – ППК переходных процессов при изменении задания на 10 %

Нагрузка, МВт	Вариант	$t_{5\%}$, с	t_p , с	σ_m , %	B_T^{M*} , о.е.	h_{PK}^{M*} , о.е.	p_0^M , %	h_{PK}^M , %	p_0^{M*} , о.е.
270	1	8	21	0	1,188	1,239	1,88	–	–
	2	8	120	1	1,24	1,3	3,67	–	–
170	1	10	46	0,22	1,183	–	–	62,4	1,194
	2	9	265	0	1,7	–	–	12,5	1,0

В таблице 1: $t_{5\%}$ – время достижения САУМБ половины регулировочного диапазона (5 % от $P_{\text{ном}}$); t_p – время вхождения регулируемой величины в зону нечувствительности САУМБ (± 1 % от номинальной мощности энергоблока); σ_m – максимальное перерегулирование; B_T^{M*} – максимальное относительное изменение расхода топлива (отношение максимального значения расхода топлива к установившемуся значению); $h_{p_k}^{M*}$ – относительное изменение положения регулирующих клапанов турбины; p_0^M – максимальное изменение давления перегретого пара перед турбиной; $h_{p_k}^M$ – максимальное перемещение регулирующих клапанов турбины; p_0^{M*} – относительное изменение давления перегретого пара перед турбиной.

В режиме постоянного давления перегретого пара перед турбиной предлагаемая САУМБ отрабатывает половину требуемого задания по мощности за 8 с, что аналогично сравниваемому варианту. У САУМ-1 полное время регулирования больше в 5,7 раза. Также у предлагаемой САУМБ отсутствует перерегулирование, в то время как у САУМ-1 оно равняется 1 % $P_{\text{ном}}$, что допускается стандартом. Наименьший относительный расход топлива в предлагаемой системе на 4,4% меньше, чем на энергоблоке № 4 Конаковской ГРЭС. Наименьшее относительное перемещение регулирующих клапанов турбины в предлагаемом варианте системы на 5% меньше по сравнению с вариантом 2. Наименьшее отклонение давления перегретого пара перед турбиной у САУМ-1 больше в 1,95 раза.

В режиме постоянного давления перегретого пара перед турбиной предлагаемая САУМБ обладает очевидным преимуществом над лучшим иностранным аналогом, т.к. показывает лучшие прямые показатели качества переходных процессов при скачке задания по мощности на 10 %.

В режиме переменного давления перегретого пара перед турбиной предлагаемая САУМБ отрабатывает половину задания по мощности за 10 с, что больше на 1 с, чем у варианта 2, однако этот показатель укладывается в требования стандарта. У варианта 2 полное время регулирования больше в 5,76 раза по сравнению с предлагаемой САУМБ. У САУМ-1 отсутствует перерегулирование по мощности, в то время как у предлагаемой САУМБ оно совсем незначительно и равняется 0,22 % $P_{\text{ном}}$, что в 4,5 раза меньше допускаемой стандартом [2] наибольшей величины перерегулирования в 1 % $P_{\text{ном}}$. Наименьший относительный расход топлива у предлагаемой САУМБ, по сравнению с энергоблоком № 4 Конаковской ГРЭС больше в 1,44 раза. Наименьшее отклонение положения регулирующих клапанов турбины в варианте 2 по сравнению с предлагаемой САУМБ больше в 5 раз. Высокое быстродействие САУМ-1 при отработке половины требуемого задания по мощности достигается за счёт большего расхода топлива с момента увеличения задания по мощности до момента вхождения в зону нечувствительности САУМБ ± 1 % $P_{\text{ном}}$. Высокое быстродействие предлагаемой САУМБ достигается за счёт большего отклонения положения регулирующих клапанов турбины,

что позволяет повысить экономичность работы энергоблока, т.к. относительный расход топлива при переходном процессе ниже в 1,44 раза.

Переходной процесс по давлению перегретого пара перед турбиной САУМБ энергоблока № 4 Конаковской ГРЭС не имеет перерегулирования, а сразу достигает установившегося значения, в то время как у предлагаемой САУМБ относительное изменение давления перегретого пара перед турбиной равняется 1,194, т.е. есть перерегулирование. Однако, необходимо отметить, что у САУМ-1 при росте мощности со 170 МВт до 200 МВт давление перегретого пара перед турбиной увеличивается на 3,3 МПа. При мощности энергоблока 170 МВт давление пара перед турбиной равняется 20,7 МПа. При росте мощности до 200 МВт у сравниваемого варианта давление вырастает до номинального.

В предлагаемой САУМБ новое установившееся значение давления перегретого пара перед турбиной при мощности энергоблока 200 МВт на 9,5 % больше, чем при мощности 170 МВт, т.е. абсолютное отклонение давления пара перед турбиной в 1,65 раза меньше, чем у САУМ-1. В САУМБ энергоблока № 4 Конаковской ГРЭС максимальное отрицательное значение отклонения давления перегретого пара перед турбиной равняется 0,75 МПа. В предлагаемой САУМБ то же самое отклонение равняется 1,7 % или 0,35 МПа, что в 2,14 раза меньше по сравнению с вариантом 2.

В режиме переменного давления перегретого пара перед турбиной предлагаемая САУМБ обладает очевидными преимуществами над зарубежным аналогом: более высокое быстродействие (в 5,76 раза), большая экономичность и высокая надежность за счёт увеличения срока службы металла котла и турбины.

Наличие незначительного перерегулирования допускается стандартом, а большее отклонение положения регулирующих клапанов турбины необходимо для обеспечения высокого быстродействия предлагаемой САУМБ.

Ожидаемая годовая экономия условного топлива на одном энергоблоке составит 858,2 т. у. т., что эквивалентно (при цене 1 т. у. т. 260 у. е.) 223132 у. е.

Таким образом, доказано преимущество предлагаемой САУМБ по сравнению с зарубежным аналогом в широком диапазоне изменения нагрузок.

1. Система автоматического регулирования частоты и перетоков мощности в Белорусской энергосистеме. Нормы участия энергоблоков ТЭС и АЭС в нормированном первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты: СТП 09110.01.215-15. – Введ. 2015.11.02. – Минск : ГПО «Белэнерго», 2015. – 17 с.