

телопотребления с учетом характерных особенностей каждого вида присоединенной тепловой нагрузки. Опыт работы ряда ТЭЦ говорит о возможности и целесообразности присоединения дополнительных тепловых нагрузок при сравнительно небольших дополнительных затратах на оборудование. При этом имеется возможность максимально использовать резервы действующего оборудования и обеспечить экономию топлива в энергосистеме.

### Л и т е р а т у р а

1. Ливчак В.И. О температурном графике отпуска тепла для систем отопления жилых зданий. — "Водоснабжение и санитарная техника", 1973, № 12.

В.А. Поливенок, Л.И. Мельник, Г.Т. Кулаков

#### К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ САР ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВТОРИЧНОГО ПАРА КОТЛА ТГМП-114 ЭНЕРГОБЛОКА МОЩНОСТЬЮ 300 МВт

На дубль-блоке Лукомльской ГРЭС (ст. № 2) длительное время эксплуатируется система автоматического регулирования технологических параметров парогенераторов (ПГ) ТГМП-114, работающая в широком диапазоне изменения нагрузок с учетом скользящего давления пара перед турбиной. Функциональная схема этой системы в части автоматизации процесса горения и температуры вторичного пара котла представлена для одного корпуса (рис. 1).

Остановимся на некоторых особенностях разработки, наладки и внедрения схемы.

Нагрузка корпуса определяется сигналом от главного регулятора (ГР) или программного задающего устройства (ПЗУ), поступающим одновременно на регуляторы питания (РП) и топлива (РТ). Отключающим сигналом этих регуляторов являются соответственно расходы питательной воды по ниткам  $W_A$  и  $W_B$  и расход мазута на корпус  $W_M$ . В случае нарушения соответствия между заданной нагрузкой и требуемым тепловыде-

лением в топке вследствие неточной статической настройки регуляторов, изменения калорийности топлива, поступления обводненного мазута в действие вступают корректоры регуляторов питания, поддерживающие температуру пара за  $\theta_{НА}$  и  $\theta_{НБ}$  на заданном значении в диапазоне изменения нагрузок от 300 до 220 МВт. При нагрузке ниже 220 МВт энергоблок переходит на работу со скользящим давлением пара перед турбиной: в этом случае для создания необходимой неравномерности по температуре пара в промежуточной точке на корректуры регуляторов питания (КПИ) подается дополнительный сигнал по давлению острого пара перед турбиной  $P_T$ . При этом применение программного задающего устройства позволяет осуществлять набор и снижение нагрузки энергоблока с заданной оператором скоростью.

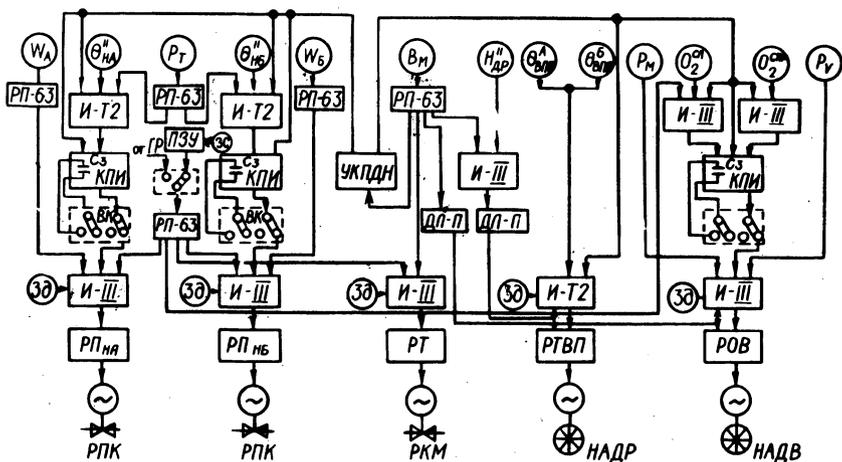


Рис. 1. Функциональная схема САР процесса горения и температура вторичного пара парогенератора ТГМП-114.

При отключении корректоров регуляторов питания переключателем ВК закорачивается конденсатор  $C_3$ , установленный в цепи обратной связи корректирующего прибора. При этом КПИ перестает быть интегратором, выходное напряжение последнего практически "отслеживает" входной сигнал и удобно регулируется задатчиком измерительного блока корректирующего регулятора. Это позволяет осуществлять безударное подключение температурных корректоров к регуляторам питания (ПР).

Одной из особенностей ПГ ТГМП-114 является регулирование температуры перегрева вторичного пара изменением расхода дымовых газов с помощью специального дымососа, воздействующего на рециркуляцию газов. Такой способ регулирования промежуточного перегрева пара обеспечивает широкий диапазон регулирования и сокращает затраты на дорогостоящий металл и арматуру пароперегревателя.

Как показали испытания, одним из недостатков ПГ ТГМП-114 является значительная температурная и газовая неравномерность по ширине топки. Так, при полностью открытых шиберов по воздушному тракту разность избытков до водяного экономайзера достигает 0,15, а разность по температуре вторичного пара по ниткам более  $20^{\circ}\text{C}$ . Избыток воздуха больше с правой топки, а температура промперегрева — с левой. Это объясняется неудачным конструктивным выполнением воздушного тракта ПГ, в результате чего воздух поступает неравномерно по ширине топки.

Кроме того, при существующем конструктивном выполнении воздушного тракта и принятой компоновке вихревых горелок с улиточно-тангенциальной закруткой факел смещается от оси топки в левую сторону. Вместе с тем различные факторы режимного характера (увеличение или уменьшение избытка воздуха, а также расхода дымовых газов на рециркуляцию) оказывают незначительное влияние на изменение газовой и температурной неравномерности в топке. Эта неравномерность, а следовательно, и перекос температур по ниткам промперегрева устраняется прикрытием регистров воздуха средних горелок и шиберов периферийного воздуха крайних горелок.

Отработка статистических данных результатов испытаний, проводимых в течение 8 месяцев, показала, что в эксплуатационных условиях на ПГ имеют место как перекосы, вызванные неудачным конструктивным выполнением воздушного тракта котла, так и "плавающие" перекосы, обусловленные аэродинамической неустойчивостью факела. Перекосы первого вида, достигающие по абсолютной величине более  $20^{\circ}\text{C}$ , могут быть устранены только изменением настройки топливного режима. Эти перекосы возникают после капитального, текущего и других ремонтов ПГ, а также смены мазутных форсунок, т.е. после 500—600 ч работы ПГ. При "плавающих" перекосах и постоянной нагрузке ПГ, фиксированных шиберов по воздуху и дымовым газам разность в содержании кислорода по сторонам топки может достигать 0,5%. Чаще всего такие перекосы возникают при ми-

нимальной нагрузке. Объясняется это аэродинамической неустойчивостью факела, т.е. самопроизвольным перемещением его по ширине топки. Существенного влияния на топочный процесс такие перекосы не оказывают, так как по времени они не продолжительны и для их устранения не нужно перенастраивать топочный режим. Разность температур по ниткам промпрегрева при этом достигает не более  $5^{\circ}\text{C}$ .

Производились также наблюдения за появлением перекосов температур по ниткам промпрегрева при снижении и наборе нагрузки энергоблока. В результате было установлено, что в большинстве случаев перекосов температур вторичного пара по ниткам ПГ и газов за экраном повторной камеры, а также перераспределения расхода вторичного пара по ниткам промпрегрева не наблюдалось.

Таким образом, при всех эксплуатационных условиях разность температур между нитками промпрегрева при регулировании температуры только изменением производительности дымососа рециркуляции не будет превышать допустимых пределов.

Для определения возможности регулирования температуры вторичного пара по сумме температур по ниткам на выходе вторичного пароперегревателя  $\theta_{\text{ВПП}}^{\text{А}} + \theta_{\text{ВПП}}^{\text{Б}}$  путем изменения производительности дымососа рециркуляции в условиях меняющихся перекосов были проведены специальные испытания. Они показали, что статические коэффициенты усиления отдельных ниток промпрегрева по температуре вторичного пара при возмущении расходом дымовых газов на рециркуляцию одинаковы во всем рабочем диапазоне нагрузок блока, независимо от наличия или отсутствия перекосов температур по ниткам промпрегрева ПГ.

В результате была принята следующая двухконтурная система регулирования температуры вторичного пара с воздействием на производительность дымососа рециркуляции. Основным импульсом регулятора температуры вторичного пара (РТВП) является сумма температур по ниткам корпуса на выходе вторичного пароперегревателя, опережающим — разность сигналов по расходу мазута на корпус и расходу дымовых газов, определяемому по давлению на выходе дымососа рециркуляции  $H''_{\text{др}}$ . Оценка расхода дымовых газов по величине давления на выходе дымососа рециркуляции обусловлена отсутствием на воздуховодах прямых участков, необходимых для ус-

тановки диафрагмы или мультипликатора. Положение направляющего аппарата дымососа рециркуляции (НАДР), перепад давления на рабочем колесе или величина тока электродвигателя дымососа рециркуляции не определяли однозначного расхода дымовых газов. Были предприняты попытки измерять расход газов по перепаду давлений "выход дымососа рециркуляции — разрежение внизу топки". Испытания показали, что разрежение внизу топки в широком диапазоне изменения нагрузок практически не меняется.

Регулирование общего воздуха осуществляется по соотношению давлений мазута  $P_m$  и воздуха  $P_u$ . Корректирующим импульсом регулятора общего воздуха (РОВА) является суммарное содержание кислорода в уходящих газах справа и слева  $O_2^{спр} + O_2^{сл}$ . Необходимая неравномерность на корректор по кислороду задается в зависимости от уровня нагрузки дополнительным сигналом от множителя нагрузки корпуса. При этом для улучшения качества регулирования на регулятор общего воздуха подается опережающий сигнал по расходу мазута на корпус.

Анализ полученных в результате испытаний динамических характеристик ПГ показал, что обеспечить качественную работу регуляторов питания, общего воздуха и вторичного пара в диапазоне изменения нагрузок от 100 до 50% с учетом скользящего давления пара перед турбиной без изменения параметров настройки в зависимости от уровня нагрузки невозможно. Так, например, в этом диапазоне изменения нагрузок коэффициент усиления по температуре пара за ВРЧ-П при возмущении расходом топлива и воздуха изменяется более чем в 4,3 раза, запаздывание в 2,2 раза. При уменьшении нагрузки ПГ с 300 до 150 МВт коэффициент усиления по кислороду при возмущении расходом воздуха также увеличивается в 2,5 раза. Такое существенное изменение динамических свойств приводит при неизменных параметрах настройки регулирующих приборов к ухудшению качества поддержания технологических параметров при работе ПГ в широком диапазоне изменения нагрузок и скользящем давлении пара перед турбиной. Для улучшения качества работы регуляторов во всем диапазоне изменения нагрузок САР ПГ дополнена устройством коррекции параметров динамической настройки регуляторов (УКПДН). Последнее в зависимости от уровня нагрузки ПГ, определяемого по величине расхода мазута на корпус, осуществляет изменение настройки коэффициентов усиления и времен издрома корректирующих регуляторов

питания и общего воздуха, а также коэффициентов усиления регуляторов вторичного пара.

Настройка системы автоматического регулирования проводилась в три этапа. На первом этапе осуществлялась статическая и динамическая настройка отдельных контуров регулирования, выполняющих функции стабилизаторов работы ПГ. Особое внимание уделялось выбору зоны нечувствительности регуляторов. При этом стремились к минимизации зоны нечувствительности. Это особенно важно на минимальных нагрузках, где резко уменьшается крутизна датчиков расхода из-за квадратичности характеристик дроссельных устройств измерения расхода. Таким образом были настроены регуляторы питания, топлива, общего воздуха и температуры вторичного пара, включенные по схеме стабилизаторов расходов и давлений.

На втором этапе осуществлялась статическая настройка регуляторов соотношений. Она заключалась в выборе величин сигналов, действующих на отдельные регуляторы в установившемся состоянии. При этом воздействие на них корректирующих регуляторов отключалось.

Статическая настройка регуляторов соотношений выполнялась таким образом, чтобы в стационарном режиме во всем регулируемом диапазоне нагрузок обеспечивалось поддержание технологических параметров на значении, близком к установленному на режимной карте котла. За счет реализации этого требования достигается лучшее качество переходных процессов регулирования при изменении нагрузки котла.

На заключительном этапе наладки определялись статические и динамические параметры настроек корректирующих регуляторов. Статическая настройка заключалась в выборе величины сигнала, подаваемого на корректирующий регулятор для поддержания контролируемых параметров с требуемой статической неравномерностью. Величина неравномерности параметра задается режимной картой котла.

Динамическая настройка корректирующих регуляторов проводилась путем выбора оптимальных настроек на максимальной, средней и минимальной нагрузках. Затем на основании полученных данных выбирался закон изменения настройки, реализуемый с помощью устройств коррекции параметров динамической настройки регуляторов и обеспечивающий качественное регулирование технологических параметров в настраиваемом диапазоне работы САР. Параметры настройки основных регулирующих приборов приведены в табл. 1. При этом для тех регулято-

Таблица 1

Наименование регулирующего прибора	Параметр настройки			
	Скорость связи, $\alpha$ дел/с	Время издрома, R Мом	Время дифференцирования	Чувствительность дифференциатора, $\alpha_{\text{д}}$ дел
Регулятор топлива	4,8	1,5	-	-
Регулятор питания	3,7	1,0	-	-
Температурный корректор регулятора питания (КПИ)	5,0	6,8	-	-
Регулятор общего воздуха (РОВ)	1,5	1,0	-	-
КПИ регулятора общего воздуха	7,0	1,0	-	-
Регулятор температуры вторичного пара (РТВП)	1,0	1,5	-	-
Дифференциатор РОВ	-	-	$\alpha_{\text{т}} = 5,0$ дел $R_{14-15} = 150$ кг 10	
Дифференциатор РТВП	-	-	$\alpha_{\text{т}} = 6,0$ дел $R_{14-15} = 4,7$ мм 10	

ров, динамическая настройка которых корректируется УКПДН, приведенные данные соответствуют минимальной нагрузке ПГ.

Как следует из приведенных графиков изменения основных технологических параметров энергоблока при наборе нагрузки от 150 до 300 МВт (рис. 2), система автоматизации процесса горения и вторичного пара обеспечивает качественное регулирование во всем диапазоне изменения нагрузок ПГ. Так, содержание кислорода в дымовых газах поддерживается в пределах  $\pm 0,06\%$  от заданного уровня и только при больших возмущениях (включение двух мазутных форсунок, переключение дутьевых вентиляторов на вторую скорость) кратковременно отклоняется от заданного уровня на  $\pm 0,68\%$ . При этом мак-

симальное отклонение температуры вторичного пара достигает  $9,5^{\circ}\text{C}$ . На установившихся уровнях нагрузок среднеквадратичное отклонение (СКО) избытка воздуха составляет  $0,02$ , температуры вторичного пара —  $2^{\circ}\text{C}$ , температуры пара за ВРЧ-II —  $2,2^{\circ}\text{C}$ .

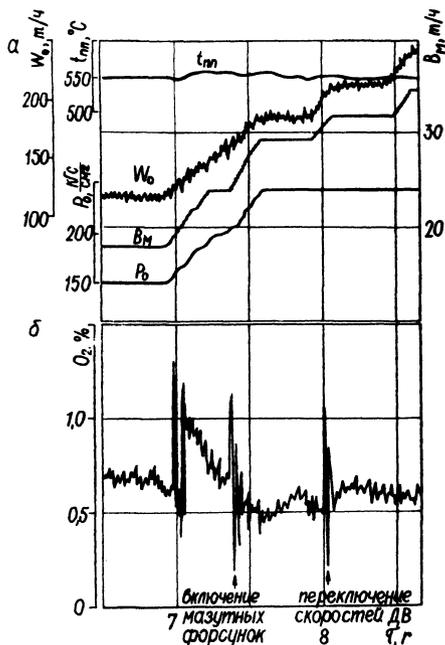


Рис. 2. Графики изменения основных технологических параметров энергоблока при наборе нагрузки от 150 до 300 МВт (а, б):  $W_0$  — расход питательной воды;  $P_0$  — давление острого пара;  $t_{pp}$  — температура вторичного пара;  $V_M$  — расход мазута на корпус ПГ;  $O_2$  — содержание кислорода в дымовых газах.

Базовая система регулирования, работающая ранее в диапазоне нагрузок  $70 \div 100\%$  без автоподстройки регуляторов, имела следующие величины СКО:

$$\sigma_{\Delta} = 0,04 ; \quad \sigma_{\theta}^{ВПП} = 3^{\circ}\text{C}; \quad \sigma_{\theta}^{ВРЧ-II} = 4,5^{\circ}\text{C}.$$

Общий годовой экономический эффект от внедрения системы регулирования котла ТГМП-114 в диапазоне нагрузок  $100-50\%$  при работе в режиме скользящего давления и с учетом оптимизации настройки регуляторов в зависимости от уровня нагрузки составляет 57 тыс. руб.

В заключение следует отметить, что опыт работы системы автоматического регулирования на котлах ТГМП-114 в диапазоне изменения нагрузок от 300 до 150 МВт подтвердил целесообразность регулирования температуры вторичного пара по сумме температур по ниткам на выходе из пароперегревате-

ля воздействием на направляющий аппарат дымососа рециркуляции. При этом представительным импульсом, характеризующим расход газов на рециркуляцию, является давление газов на выходе дымососа рециркуляции.

Система автоматизации ПГ, дополненная устройством коррекции параметров динамической настройки регуляторов и программным задающим устройством, обеспечивает качественное регулирование технологических параметров в диапазоне изменения нагрузок от 300 до 150 МВт в режиме скользящего давления пара перед турбиной и является основой для проведения работы по внедрению системы автоматического регулирования мощности, которая в настоящее время проводится на энергоблоках Лукомльской ГРЭС.

О.В. Жидович, И.И. Стриха, В.И. Барышев

## КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГАЗОХОДОВ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ, СЖИГАЮЩИХ СЕРНИСТЫЕ ТОПЛИВА

Выход из строя металлических газоходов, расположенных между воздухоподогревателями и дымовой трубой, вызывается процессами низкотемпературной коррозии. Для количественной оценки скорости коррозии в разных местах газохода нужно знать распределение температуры газов и стенки, а также величину парциального давления серного ангидрида. Фактором, контролирующим количество кислоты, сконденсированной на поверхности, является разность температур газа и стенки.

Результаты измерений температуры газов и стенок газоходов парогенератора газомазутного блока 300 МВт показывают, что разность температур газа и стенки в некоторых местах может составлять 13 – 32<sup>0</sup>С. Работа газоходов с такой разностью температур вызывает их интенсивное разрушение за счет коррозии. Теплоизоляция газоходов из минваты толщиной 120 мм должна обеспечивать разность температур газа и стенки в пределах 3 – 4<sup>0</sup>С. Как видно, фактическая разность температур газа и стенки в несколько раз превышала расчетную. Это явилось причиной коррозионного разрушения значительной части поверхности газоходов.