

Шаг 5. Сформировать управление $u_{\mu}(t) = \{u_{\mu_1}(t), u_{\mu_2}(t), \dots\}$,

$$u_{\mu_k}(t) = \begin{cases} u_k^i(t) & \text{при } 0 \leq t \leq T; \\ u_k^e(t) & \text{при } t > T. \end{cases} \quad (k = 1, 2, \dots)$$

Для исходной задачи нагрева квазиоптимальным управлением является

$$u_{kbo}(t, x) = \sum_{k=1}^{\infty} u_{\mu_k}(t) \sin k\pi x.$$

Приближенная оптимальность этого управления следует из теоремы 2, принципа максимума для уравнения теплопроводности [1, 4] и того, что $T_1 < \epsilon$.

Так как задача нагрева стержня является корректно поставленной, то для практического применения описанного алгоритма достаточно использовать конечное число членов разложения в ряд Фурье функции $a_0(x)$, что существенно упростит решение задачи (21)...(24).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутковский А.Г., Малый С.А., Андреев Ю.Н. Оптимальное управление нагревом металла. – М.: Металлургия, 1972. – 440 с. 2. Панасюк А.И., Панасюк В.И. Асимптотическая магистральная оптимизация управляемых систем. – Минск: Наука и техника, 1986. – 296 с. 3. Гусев Д.Е., Якубович В.А. Теорема о магистрали в задаче непрерывной оптимизации // Вестник ЛГУ, сер. матем., мех., астрон. – 1983. – № 1. – Вып. 1. – С. 21–27. 4. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Основные дифференциальные уравнения математической физики. – М.: Физматгиз, 1962. – 287 с.

УДК 621.18-52

В.И. ЛИТВИНЕЦ, канд. техн. наук (БПИ)

О РЕГУЛИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЧАСТИ ПАРОВОДЯНОГО ТРАКТА ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛА

Температурный режим прямоточного котла при изменении нагрузки в основном определяется расходами топлива и питательной воды, соотношение которых обеспечивается работой системы автоматического регулирования питания. Контроль этого соотношения осуществляется по температуре в промежуточной точке пароводяного тракта, т. е. в радиационной части до первого (по ходу среды) автоматизированного впрыска. Одновременно с управлением режимом питания решается задача минимизации потерь на дросселирование питательной воды в клапанах. При работе энергоблоков с прямоточными котлами в регулирующем режиме был выявлен ряд недостатков типовой схемы: низкое быстродействие при управлении нагрузкой агрегата, склонность к колебательности в режимах переменного (скользящего) давления пара, существен-

ные отклонения температуры пара в радиационной части тракта при форсированном изменении нагрузки [1].

В результате анализа переходных процессов по температуре пара при возмущениях расходом топлива, расходом питательной воды и нагрузкой установлено, что соотношение топливо—вода в динамике следует поддерживать более точно, подавляя возмущения разной частоты различными элементами системы. По характеру изменения температуры пара в радиационной части тракта при указанных воздействиях данный объект можно отнести к разряду неминимальнофазовых, следствием чего являются режимы неустойчивой работы системы в зоне перехода с номинального давления пара на скользящее, систематически наблюдаемые в эксплуатационной практике. Выявленное свойство объекта управления приводит к ограничению возможностей регулирования температуры пара радиационной части тракта с использованием только принципа обратной связи.

Исследованные в 70-х годах [2] варианты коррекции расхода питательной воды позволили установить, что перспективными могут быть способы регулирования, основанные на различных сочетаниях производной и пропорциональной составляющих сигнала коррекции. В результате промышленной эксплуатации ряда отечественных схем был сделан вывод [3], что высокочастотные возмущения системы регулирования питания целесообразно подавлять посредством коррекции производительности питательного турбонасоса (ПТН), а низкочастотные (эксплуатационные) — за счет воздействия на клапаны расхода питательной воды (РПК). Этот принцип реализуется схемами [4], в которых суммарная производительность котла по воде обеспечивается ПТН, а распределение расходов или выравнивание температур по потокам производится с помощью РПК (рис. 1). Отдельный регулятор $ПИ_1$ предназначен только для пусковых операций, одновременно $ПИ_3$ с интегратором I_2 отслеживается заданная разность значений топливо—вода. Регулятор $ПИ_2$ находит-

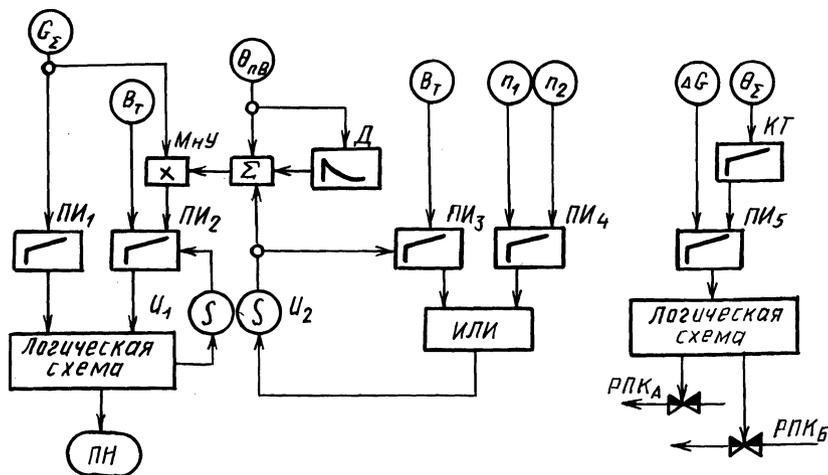


Рис. 1. Всережимная схема регулирования питания двухпоточного котла с поддержанием расходов воды по потокам.

си в состоянии готовности благодаря интегратору I_1 и после пуска обеспечивает необходимое соотношение топливо—вода в переходных режимах с учетом изменения температуры питательной воды и ее производной. Регулятор PI_2 перераспределяет расход питательной воды по ниткам соответственно рассогласованию температур контролируемых сечений.

Наиболее прогрессивные зарубежные технические решения этой проблемы заключаются в использовании регулируемого привода (США, ФРГ) питательных насосов (ПН), а также в управлении ПН для поддержания температуры пара в одном из сечений тракта. Предлагаются также координирующие связи для обеспечения инвариантности регулирования расхода питательной воды от колебаний нагрузки турбины (Япония).

Анализ динамических характеристик объекта регулирования в различных условиях работы энергоблока позволил выявить дополнительные возможности стабилизации температурного состояния радиационной части тракта, связанные с технологическими особенностями прямоточных котлов. Базируясь на схемах, которые реализуют способ минимального дросселирования питательной воды, можно выполнить координацию взаимодействия регулирующих питательных клапанов РПК и ПН с учетом необходимого качества поддержания температурного состояния котла. Новые же средства автоматизации (включая микроЭВМ) позволяют реализовать более совершенные алгоритмы формирования сигнала управления.

На рис. 2 приведен один из вариантов принципиальной схемы автоматизации узла питания, в котором использованы контуры аналитической адаптации регуляторов к изменениям динамики объекта. Регулятор питания обрабатывает изменения задания $N_{зд}$ с обратной связью по расходу питательной воды G , коррекция которого по температуре среды θ осуществляется с неравномерностью, определенной датчиком давления пара P_T перед турбиной. Аперiodическая модель 2-го порядка инерционного участка тракта котла позволяет использовать регулятор питания с повышенным коэффициентом усиления. Модель соответствует инерционному звену объекта регулирования температуры и после сумматора Σ_2 сигнал рассогласования модели и объекта как производная в функции отклонения температуры от заданного значения подается на регулятор питания (РН). Ограничение (Огр) вводится для снижения больших значений производной в колебательных процессах. Связь между регуляторами РП и ПН обеспечивает согласованное действие РПК и питательного насоса, причем опережающее воздействие на РПН вводится по заданной нагрузке или же по рассогласованию заданной и фактической мощностей ($\Delta N = N_{зд} - N_{ф}$) через дифференциатор D_1 .

Оптимизация настройки многосвязной системы (МСС) автоматического регулирования питания производится известными методами компенсации инерционности объекта, а качество работы ее целесообразно анализировать в пространствах выходных переменных "быстрой" (давление и расход питательной воды) и "медленной" (температуры). На примере работы цифровой модели покажем, как согласование контуров управления нагрузкой агрегата и АСР питания в высокочастотной области способствует нормализации температурного состояния котла и прежде всего — его радиационной части.

Структура системы автоматического регулирования питания, устойчивая при достаточно большом коэффициенте усиления, представлена на рис. 2, а.

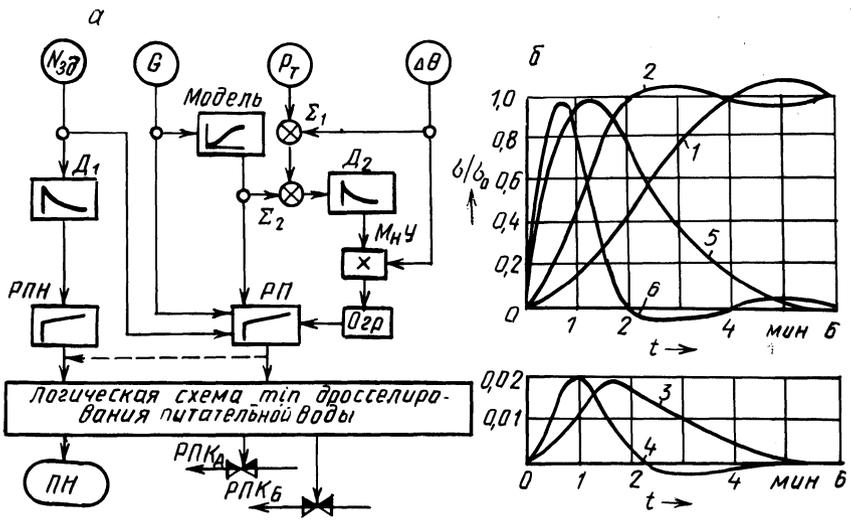


Рис. 2. Регулирование питания прямооточного котла с координацией управления ПН по температуре пара в промежуточной точке тракта:

a – структурная схема; *б* – переходные процессы модели типовой и предлагаемой системы при возмущениях заданием (1 и 2), расходом питательной воды (3, 4) и температурой (5 и 6).

Высокочастотная обработка сигналов производится в данной системе с помощью дифференциаторов как в модели инерционного участка объекта, так и в контуре коррекции рассогласования выходного параметра, т. е. температуры по отношению к заданному значению. Кроме того, пропорционально-интегральные регуляторы, воздействующие на РПК и ПН, осуществляют низкочастотное преобразование контролируемых сигналов в управляющее воздействие. Учитывая возможность появления высоких значений производных, в "быстрых" контурах системы вводится ограничение.

Таким образом, сигналы, контролируемые регуляторами питания $\sigma_{рп}$ котла и регулятора ПН $\sigma_{пн}$, могут быть описаны следующей системой:

$$\begin{cases} \sigma_{рп} = N_{эд} - G(1 + W_{мод}) + [(\theta - P_T) - W_{мод}] W_{д1} \Delta\theta|_{огр}; \\ \sigma_{пн} = \sigma_{рп} + N_{эд} W_{д2}, \end{cases}$$

где $W_{мод}$ и $W_{д1}, W_{д2}$ – передаточные функции соответственно модели и дифференциаторов.

На рис. 2, б изображены переходные процессы модели предлагаемого варианта системы в сравнении с типовым решением. Существенным является сокращение времени регулирования (в 1,5 раза) при улучшении динамических характеристик системы в целом: уменьшении динамической ошибки, времени перерегулирования, колебательности, а также значения интеграла ошибки регулирования.

При опытно-промышленной эксплуатации анализируемой системы были подтверждены отмеченные преимущества. Так, использование модели инерционной части объекта позволило повысить быстродействие схемы, значительно снизить отклонения температуры при эксплуатационных возмущениях расходом пара. Изменение нагрузки энергоблока обеспечивается в первую очередь форсировкой ПТН и пароводяного тракта с последующим подавлением отклонений температуры пара в радиационной части за счет высокочастотного контура коррекции режима. Полученные результаты позволяют рекомендовать эту схему к распространению на энергоблоках с прямоточными котлами, системы управления которыми реализованы на унифицированной аппаратуре ГСП (Каскад, АКЭСР и пр.), а также на микропроцессорной технике (Реми-конт, микроЭВМ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Система автоматического управления энергоблоком сверхкритических параметров / В.И. Литвинец, Г.Т. Кулаков, В.В. Молев и др. // Изв. вузов. – Энергетика. – 1980. – № 8. – С. 40–45. 2. B o r s i L. Vergleichende Untersuchung über Regelschaltungen für Blockeinheiten mit Zwangsdurchlaufdampfzeugern. Brennstoff – Wärme – Kraft, 25 (1973). – N 3. – S. 69–75. 3. Л и т в и н е ц В.И., П и с а р ч и к В.С., Р ы м а ш е в с к и й Ю.В. Особенности регулирования нагрузки конденсационных энергоблоков в форсированном и предаварийном режимах. // Изв. вузов. – Энергетика. – 1984. – № 1. – С. 75–89. 4. Всережимное автоматическое регулирование крупных энергоблоков / И.И. Давыдов, Е.Г. Козырева, А.Д. Меламед, Э.Э. Микушевич. // Обзорная информация / Серия: Тепловые электростанции. – М.: Информэнерго, 1978. – 56 с.

УДК 621.311.22

П.В. БАЧИЩЕ, канд. техн. наук,
В.И. НАЗАРОВ, З. ЗАИДИ (БПИ)

К ВОПРОСУ ОПТИМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКОМ

В настоящее время развитие современной энергетики характеризуется опережением тепловых и атомных электрических станций с мощными блоками. Для нормальной эксплуатации таких сложных агрегатов необходимо постоянно контролировать до 3000 технологических параметров. Сложность такого контроля в том, что каждая ошибка эксплуатационного персонала может привести к нарушению экономичности работы энергооборудования или даже аварии, т. е. возникает проблема представления оптимальной информации оператору энергоблока.

Определить объем информации о состоянии работающего энергоблока, необходимый оператору, можно путем создания его информационной математической модели. При ее построении приходится решать такие важные вопросы, как выбор критерия эффективности, выбор ограничений и т. д. Разработан ряд методов определения оптимального объема информации. Например, И.А. Руссман предлагает использовать теорию графов [1]. Целевой функцией в этом случае является минимум суммы затрат на получение информации и