

газов внешней рециркуляции во вторичный воздух приводит к увеличению концентрации SO_3 в продуктах сгорания, что хорошо согласуется с экспериментальной кривой 2, приведенной в [4]. Данное явление объясняется неоднозначной зависимостью образования серного ангидрида от температуры.

При вводе газов рециркуляции в первичный воздух концентрация SO_3 в продуктах сгорания снижается. Так, например, при двухступенчатом сжигании жидкого топлива ввод 40 % газов рециркуляции в первичный воздух приводит к снижению концентрации SO_3 на 38 %.

На основании расчетов можно сделать вывод, что концентрация серного ангидрида в продуктах сгорания зависит от содержания серы в топливе. Например, при двухступенчатом сжигании жидкого топлива с увеличением содержания серы в топливе концентрация SO_3 в продуктах сгорания увеличивается. Причем при $S^p \geq 3$ % увеличение концентрации SO_3 в продуктах сгорания незначительно.

При одноступенчатом сжигании жидкого топлива с одинаковым содержанием серы в топливе концентрация SO_3 в продуктах сгорания выше, чем при двухступенчатом сжигании, что хорошо согласуется с известными экспериментальными данными [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Жихар Г.И., Богданович И.Г., Кеда Н.П. Расчетное исследование образования оксидов азота и серы при сжигании мазута // Научные и прикладные проблемы энергетики. – 1986. – Вып. 13. – С. 51–55.
2. Изюмов М.А., Росляков П.В. Расчетные исследования образования оксидов азота и серы при сжигании жидких и газообразных топлив // Изв. вузов. Энергетика. – 1981. – № 10. – С. 40–46.
3. Внуков А.К. Теплохимические процессы в газовом тракте паровых котлов. – М.: Энергия, 1981. – 294 с.
4. Образование оксидов азота NO_x и серного ангидрида SO_3 в котлоагрегате ТГМП-314 / С.А. Тагер, В.И. Калмару, В.И. Козаков и др. // Теплоэнергетика. – 1974. – № 9. – С. 42–46.
5. Ахмедов Р.Б., Цирульников Л.М. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. – Л.: Недра, 1984. – 238 с.

УДК 621.181.62.501.22.001.53

В.К. СУДИЛОВСКИЙ, канд. техн. наук,
А.В. ЩЕРБИЧ (БПИ)

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВСТРОЕННЫХ СЕПАРАТОРОВ МОЩНЫХ ЭНЕРГБЛОКОВ

В XII пятилетке и в период до 2000 года прирост энергетических мощностей в европейской части СССР будет происходить главным образом за счет АЭС [1]. В связи с этим увеличится число пусков-остановов энергоблоков ТЭС, которые перейдут на работу в полупиковой и пиковой частях графика электрических нагрузок. В результате возрастет роль автоматизации пуско-остановочных режимов ТЭС.

В настоящее время появилась возможность автоматизировать управление встроенными сепараторами (ВС), которые являются основным элементом типовой пусковой схемы мощных энергоблоков, путем использования сигнала

по паросодержанию отсепарированного пара x_3 на основе дизлькометрического метода [2].

Для синтеза наиболее рациональной системы автоматического управления ВС с использованием сигнала по паросодержанию необходима модель ВС. Она позволит определять изменение паросодержания x_3 по каналу регулирования и при возмущении тепловой нагрузкой, расходом питательной воды и отсепарированного пара. Решение подобной задачи приводилось в [3, 4], в которых, однако, отклонение параметра x_3 непосредственно не рассчитывалось. В данной работе изложен метод получения уравнений, по которым можно аналитически определять изменение паросодержания x_3 при указанных выше отклонениях.

В пусковых схемах прямоточных котлов (рис. 1) обычно применяют центробежные пленочные сепараторы. Эффективность их работы оценивают КПД [3]:

$$\eta_{\text{BC}} = G_2^{\text{B}} / G_1^{\text{B}}, \quad (1)$$

где G_1^{B} и G_2^{B} – расход влаги, поступающей на вход ВС и в линию сброса из него.

Исходя из уравнения материального баланса

$$G_1 = G_2 + G_3 \quad (2)$$

и используя соотношение

$$G_3^{\text{B}} = (1 - x_3)G_3, \quad (3)$$

получили

$$x_3 = 1 - \frac{(1 - \eta_{\text{BC}})(1 - x_1)}{1 - \delta}, \quad (4)$$

где G_1 , G_2 и G_3 – расход среды соответственно на входе в ВС, на линиях сброса среды и отвода пара из ВС; x_1 – паросодержание на входе ВС; δ – относительный расход среды, равный отношению G_2/G_1 . Переходя к приращениям и линеаризуя (4), можно записать:

$$\Delta x_3 = \frac{\partial x_3}{\partial \eta_{\text{BC}}} \Delta \eta_{\text{BC}} + \frac{\partial x_3}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial x_3}{\partial \delta} \Delta \delta. \quad (5)$$

КПД сепаратора можно представить в виде произведения двух составляющих – конструктивной $\eta_{\text{к}}$ и режимной $\eta_{\text{р}}$:

$$\eta_{\text{BC}} = \eta_{\text{к}} \eta_{\text{р}}. \quad (6)$$

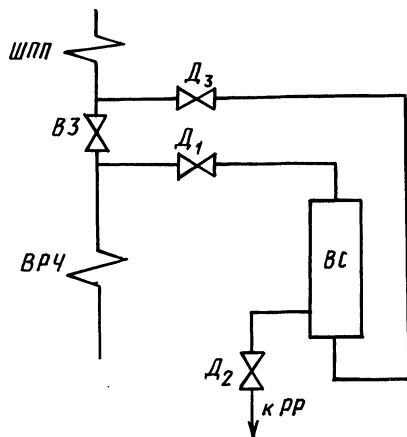
Составляющая $\eta_{\text{к}}$ определяется конструктивными особенностями ВС и для данного сепаратора имеет постоянное значение. Составляющая $\eta_{\text{р}}$ рассматривается для ВС идеальной геометрии в зависимости только от режимных параметров. Зависимость

$$\eta_{\text{р}} = \delta(1 - x_2)/(1 - x_1) \quad (7)$$

вытекает из выражений (1)...(3).

Рис. 1. Пусковая схема прямооточного котла со встроенным сепаратором:

ВС – встроенный сепаратор; РР – расточный расширитель; ВЗ – встроенная задвижка; ШПП – ширмовый пароперегреватель; ВРЧ – верхняя радиационная часть; Д₁, Д₂, Д₃ – клапаны.



Паросодержание на входе в ВС

$$x_1 = (i_{ВЗ} - i')/r \quad (8)$$

зависит от теплосодержания поступающей в ВС среды $i_{ВЗ}$, давления p в сепараторе, по которому определяются энтальпия кипящей воды i' и скрытая теплота парообразования r .

Продифференцируем уравнения (6)...(8), а также вычислим производные

$\frac{\partial x_3}{\partial \eta_{ВС}}$, $\frac{\partial x_3}{\partial x_1}$ и $\frac{\partial x_3}{\partial \delta}$. В результате с учетом (5) получим:

$$\Delta x_3 = A_1 \Delta p + A_2 \Delta \delta + A_3 \Delta t_{ВЗ}, \quad (9)$$

где

$$A_1 = -A_3 \left(\frac{\partial i'}{\partial p} + x_{10} \frac{\partial r}{\partial p} \right) / c_p; \quad (10)$$

$$A_2 = \frac{\eta_{к}}{1-\delta_0} \left[1 - x_{20} - \delta_0 \frac{\partial x_2}{\partial \delta} + \frac{1 - x_{30}}{\eta_{к}} \right]; \quad (11)$$

$$A_3 = \frac{c_p}{r_0} \left\{ \eta_{к} \frac{1 - x_{10}}{1 - \delta_0} \left[\frac{\delta_0 (1 - x_{20})}{(1 - x_{10})^2} - \frac{\delta_0}{1 - x_{10}} \frac{\partial x_2}{\partial x_1} \right] + \frac{1 - \eta_{ВСО}}{1 - \delta_0} \right\}. \quad (12)$$

В уравнениях (10)...(12) $t_{ВЗ}$ – температура перед ВЗ, а c_p – изобарная теплоемкость среды перед ВЗ.

Для определения приращения давления Δp воспользуемся уравнением истечения среды через клапаны сепаратора Д₁, Д₂ и Д₃ и уравнением сохранения вещества.

В общем случае уравнение истечения имеет вид [5]

$$p_{д} - p_{п} = \xi_{к} G_{к}^2 v_{д}, \quad (13)$$

где ξ_k – коэффициент сопротивления; v_d – удельный объем среды.

Параметры среды перед клапаном обозначим индексом д, а параметры после него – индексом п, индекс k – номер клапана на рис. 1.

Уравнение сохранения вещества для ВС можно записать в следующем виде:

$$G_1 - (G_2 + G_3) = -(V/v^2) (dv/d\tau), \quad (14)$$

где V – внутренний объем ВС; τ – время; v – удельный объем среды на входе в ВС.

С учетом уравнений (13), (14) и термодинамических соотношений для удельного объема влажного пара в отклонениях параметров получили:

$$\Delta p_d - \Delta p_p = \frac{p_{d0} - p_{п0}}{\xi_{k0}} \Delta \xi_k + \frac{2(p_{d0} - p_{п0})}{G_{k0}} \Delta G_k + \frac{p_{d0} - p_{п0}}{v_{d0}} \Delta v_d; \quad (15)$$

$$\Delta G_1 - \Delta G_2 - \Delta G_3 = \frac{V}{v_0^2} \frac{d\Delta v}{d\tau}; \quad (16)$$

$$\Delta v_{ВЗ} = \frac{\partial v_{ВЗ}}{\partial t_{ВЗ}} \Delta t_{ВЗ}; \quad (17)$$

$$\Delta v = \left[\frac{\partial v'}{\partial p} (1 - x_{10}) + \frac{\partial v''}{\partial p} x_{10} \right] \Delta p + (v_0'' - v_0') \Delta x_1, \quad (18)$$

где $v_{ВЗ}$, v' и v'' – удельные объемы соответственно среды перед ВЗ, кипящей воды, насыщенного пара.

Решая совместно уравнения (15)–(18), получаем дифференциальное уравнение, которое связывает отклонение давления Δp с изменениями параметров $t_{ВЗ}$, ξ_2 и давления за клапанами $\Pi_2 (p_2)$ и $\Pi_3 (p_3)$:

$$k_2 \Delta p - k_1 \frac{V}{v_0^2} \frac{d\Delta p}{d\tau} = \frac{V}{v_0^2} \frac{v_0'' - v_0'}{r_0} c_p \frac{d\Delta t_{ВЗ}}{d\tau} + \left(\frac{G_{10}}{2v_0} \frac{v_0'' - v_0'}{r_0} c_p - G_{10} \frac{\partial v_{ВЗ}}{\partial t_{ВЗ}} \right) \Delta t_{ВЗ} + \frac{G_{20}}{2(p_0 - p_{20})} \Delta p_2 + \frac{G_{20}}{2\xi_{20}} \Delta \xi_2 + \frac{G_{30}}{2(p_0 - p_{30})} \Delta p_3, \quad (19)$$

где

$$k_1 = (1 - x_{10}) \frac{\partial v'}{\partial p} + x_{10} \frac{\partial v''}{\partial p} - \frac{v_0'' - v_0'}{r_0} \left(\frac{\partial i'}{\partial p} + x_{10} \frac{\partial r}{\partial p} \right);$$

$$k_2 = G_{10}/2(p_{ВЗ} - p_0) + G_{20}/2(p_0 - p_{20}) + G_{30}/2(p_0 - p_{30}) - G_{10} k_1 / 2v_0.$$

Определим приращение $\Delta \delta$. С учетом (13) относительный расход δ равен

$$\delta = \sqrt{\frac{p - p_2}{\xi_2 v G_1^2}}.$$

Продифференцировав это выражение и учитывая уравнение (18), найдем приращение $\Delta\delta$:

$$\Delta\delta = \left(\frac{\delta_0}{2(p_0 - p_{20})} - \frac{\delta_0}{2v_0} k_1 \right) \Delta p - \frac{v_0'' - v_0'}{r_0} c_p \Delta t_{\text{ВЗ}} - \frac{\delta_0}{2\xi_{20}} \Delta\xi_2 - \frac{\delta_0}{2(p_0 - p_{20})} \Delta p_2 - \frac{\delta_0}{G_{10}} \Delta G_1. \quad (20)$$

Таким образом, получена система уравнений (9), (19) и (20), которая связывает изменение степени сухости x_3 с изменением температуры $t_{\text{ВЗ}}$, расхода G_1 , давления p_2 и p_3 и коэффициента ξ_2 . Решить ее можно с помощью преобразований Лапласа:

$$\Delta x_3(s) = (k_{t_{\text{ВЗ}}} \frac{s + k_{3,t_{\text{ВЗ}}}}{s - k_4} + k_{5,t_{\text{ВЗ}}}) \Delta t_{\text{ВЗ}} + \left(\frac{k_{3,p_2}}{s - k_4} + k_{5,p_2} \right) \Delta p_2 + \left(\frac{k_{3,\xi_2}}{s - k_4} + k_{5,\xi_2} \right) \Delta\xi_2 + \frac{k_{3,p_3}}{s - k_4} \Delta p_3 + k_{5,G_1} \Delta G_1.$$

Следовательно, ВС по рассмотренным каналам представляет собой параллельное соединение аperiodического и усилительного звеньев, или только аperiodическое звено, или только усилительное звено.

Чтобы проверить предложенную методику, был произведен расчет переходного процесса для котла ТГМП-314 энергоблока 300 МВт при изменении коэффициента сопротивления ξ_2 клапана D_2 . При этом возмущении коэффициенты передаточной функции рассчитывались по следующим зависимостям:

$$k_{3,\xi_2} = -(k_6/k_1) (v_0/V) (G_{20}/(2\xi_{20}));$$

$$k_4 = (k_2/k_1) (v_0/V);$$

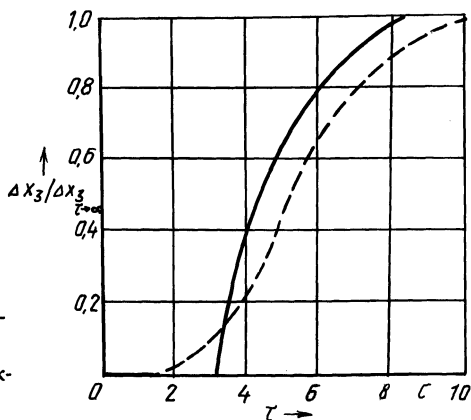


Рис. 2. Сравнение расчетной и экспериментальной кривых разгона по паросодержанию отсепарированного пара при возмущении клапаном D_2 для котла ТГМП = 314. Сплошная линия — расчетная кривая; пунктирная — экспериментальная.

$$k_{5,\xi_2} = -A_2 \delta_0 / (2\xi_2);$$

$$k_6 = A_1 + A_2 \left(\frac{\delta_0}{2(p_0 - p_{20})} - \frac{k_1 \delta_0}{2v_0} \right).$$

Применяя обратное преобразование по Лапласу к полученной-передаточной функции, определим переходную функцию:

$$\Delta x_3(\tau) = ((k_6/k_2)(G_{20}/\xi_{20})(1 - e^{k_4\tau}) - A_2 \delta_0 / (2\xi_2)) \Delta \xi_2. \quad (21)$$

На рис. 2 представлены кривые разгона по паросодержанию x_3 при возмущении клапаном D_2 , рассчитанные по формуле (21) (кривая 1) и полученные экспериментально на Лукомльской ГРЭС (кривая 2), которые удовлетворительно согласуются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. — М.: Политиздат, 1986. — С. 265–335.
2. Системы регулирования узла встроенного сепаратора / В.К. Судиловский, Ю.В. Мулев, А.В. Щербич, В.Г. Билуха. — Научные и прикладные проблемы энергетики. — 1986. — Вып. 13. — С. 20–23.
3. Крашенинников В.В., Доверман Г.И., Миронова В.А. Расчет динамических характеристик перегретельного тракта прямоточного котла при пуске блока // Теплоэнергетика. — № 1. — 1972. — С. 50–53.
4. Крашенинников В.В., Доверман Г.И. Математическое моделирование динамических свойств прямоточного котла при пуске // Теплоэнергетика. — № 4. — 1973. — С. 14–22.
5. Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика парогенераторов. — М.: Энергоиздат, 1981. — 408 с.

УДК 621.182

В.А. КОВАЛЕВ, С.В. СОМОВА,
Н.Н. САПУН, Б.М. РУДЕНКОВ,
канд-ты техн. наук (БПИ),
В.В. МАЙОРОВ (ВПО "Каустик")

ВОЗМОЖНОСТИ СЖИГАНИЯ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ СМОЛ В ТОПКАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЛОВ

Газы, образующиеся в процессе производства поливинилхлоридных смол (ПВХС), сжигаются в факеле. Выделяющаяся при этом теплота в настоящее время не имеет практического применения. Сжигание сбросного (факельного) газа в топках промышленных котлов позволит не только улучшить экологические характеристики процесса, но и использовать его теплоту для выработки пара. При этом сэкономится значительное количество первичного топлива.

Рассматриваемый газ состоит из водорода, оксида углерода, метана, ряда непредельных углеводородов состава $C_m H_n$ ($m = 2...4$, $n = 2...6$), бензола и хлоралифатических соединений — дихлорэтана и винилхлорида. Кроме горючих составляющих, в сбросном газе имеется значительное количество водяных