

ЛИТЕРАТУРА

1. Несенчук А.П. Исследование свойств адсорбционной системы с термощедроожиженным слоем сорбента // Науч. и прикл. пробл. энергетики. – Мн.: Выш. шк., 1986. – Вып. 13. – С. 6–12.

УДК 621.181.62

В.К. СУДИЛОВСКИЙ,
А.В. ЩЕРБИЧ

ЛИНЕЙНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧАСТКА РАДИАЦИОННОГО ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ С ДВУХФАЗНОЙ СРЕДОЙ

В европейской части СССР возрастает необходимость привлекать к регулированию графиков электрических нагрузок мощные энергоблоки ТЭС. Поэтому проблема автоматизации переменных режимов ТЭС приобретает особое значение. В этой связи задача автоматического управления встроенными сепараторами (ВС), которые являются основным элементом пусковой схемы прямоточных котлов, оказывается одной из наиболее важных и актуальных. Как показано в работе [1], перспективными являются АСР ВС, которые используют сигнал по паросодержанию, полученный на основе дизелькометрического метода измерения степени сухости влажного водяного пара.

Для выбора оптимальной структуры АСР ВС с сигналом по паросодержанию отсепарированного пара была разработана предлагаемая линейная математическая модель, описывающая изменение средней температуры металла θ радиационного пароперегревателя (ПП) с двухфазной средой при отклонении степени сухости x на его входе. В рассматриваемой модели параметры ПП изменяются лишь вдоль одной пространственной координаты z , причем координатная ось сонаправлена с вектором скорости пароводяного потока. По сечению канала параметры постоянны и равны среднему значению. Исходная система уравнений включает уравнения сплошности, энергии, теплового баланса, состояния вещества, записанные в частных производных:

$$\frac{\partial G}{\partial z} = \frac{f}{v^2} \frac{\partial v}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$G \frac{\partial i}{\partial z} + \frac{f}{v} \frac{\partial i}{\partial \tau} = ah(\theta - t); \quad (2)$$

$$g - g_m C_m \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = ah(\theta - t); \quad (3)$$

$$v = f(p, x); \quad (4)$$

$$t = f(p), \quad (5)$$

где G, v, i, t, p – соответственно расход, удельный объем, энтальпия, температура, давление двухфазной среды в ПП; f, h – соответственно площадь попе-

речного сечения и удельная поверхность трубы ПП; g_M, c_M – удельная масса металла соответственно; τ – время; g – линейная плотность теплового потока из точки.

Коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки трубы к рабочей среде α^* , входящий в выражение для расчета эффективного коэффициента теплоотдачи α [2], определяется по [3]:

$$\alpha^* = 0,23 \frac{\lambda''}{2R} (\text{Re}'' (x + (1-x) \frac{v'}{v''}))^{0,8} \text{Pr}''^{0,4}, \quad (6)$$

где λ'' , Re'' , v' , Pr'' – соответственно коэффициент теплопроводности, числа Рейнольдса, Прандтля и удельный объем сухого насыщенного пара; R – внутренний радиус трубы ПП; v' – удельный объем воды по линии насыщения.

После линеаризации системы уравнений (1)–(6) путем разложения в ряд Тейлора получаем уравнения в отклонениях параметров. При этом в уравнении (1) частные производные заменяются конечными разностями. Давление p и соответствующая ему температура насыщения t считаются одинаковыми во всех точках моделируемого участка ПП и зависящими только от времени τ . Параметры v, i, G, θ являются функциями времени и координаты. Остальные параметры приняты постоянными:

$$\Delta G_{\text{вых}} = \frac{V}{v_0^2} \frac{d\Delta v}{d\tau} + \Delta G_{\text{вх}}; \quad (7)$$

$$G_0 \frac{\partial \Delta i}{\partial z} + \left(\frac{\partial i}{\partial z}\right)_0 \Delta G_{\text{вых}} + f \frac{\partial \Delta i}{\partial \tau} = \frac{g_0}{\alpha_0} \Delta \alpha + \alpha_0 h (\Delta \theta - \Delta t); \quad (8)$$

$$g_M C_M \frac{\partial \Delta \theta}{\partial \tau} = - \left(\frac{g_0}{\alpha_0} \Delta \alpha + \alpha_0 h (\Delta \theta - \Delta t)\right); \quad (9)$$

$$\Delta v = \frac{\partial v}{\partial p} \Delta p + \frac{\partial v}{\partial x} \Delta x; \quad (10)$$

$$\Delta t = \frac{\partial t}{\partial p} \Delta p; \quad (11)$$

$$\Delta \alpha = \frac{\partial \alpha}{\partial G} \Delta G + \frac{\partial \alpha}{\partial p} \Delta p, \quad (12)$$

где $\Delta G_{\text{вых}}$; $\Delta G_{\text{вх}}$ – соответственно отклонение расходов среды на выходе и входе в пароперегреватель; V – емкость исследуемого участка пароперегревателя; индекс "0" характеризует параметры в исходном состоянии системы.

Применив преобразование Лапласа по переменным τ и z к системе уравнений (7)–(12) и исключив переменную Δi , получим уравнение для отклонений температуры $\Delta \theta$ в области изображений. Для решения системы уравнений (7)–(12) использовались результаты моделирования встроенного сепаратора,

приведенные в [4], и входные возмущения энтальпией i , расходом $G_{\text{вх}}$ и давлением p были выражены через возмущение степенью сухости x .

Для получения переходной характеристики последовательно выполняются обратные преобразования Лапласа, считая, что изменение Δx — ступенчатое:

$$\Delta \theta(z, \tau) = \frac{1}{g_m C_m} \left(\theta_1 e^{-\tau/a} + \frac{\theta_2}{a} (1 - e^{-\tau/a}) + \right. \\ \left. + (\theta_3 a - \frac{\theta_2}{a}) V_1 + (\theta_4 - \theta_1 - \theta_3 a + \frac{\theta_2}{a}) V_{1,0} \right) \Delta x,$$

где $\theta_1 - \theta_4$ — комплексы физических параметров и их производных; a , V_1 , $V_{1,0}$ — специальные функции [5], определяемые при помощи модернизированных функций Бесселя; $a = g_m C_m / (a_0 h)$.

Координата конца испарительного участка пароперегревателя с двухфазной средой $z_{\text{к.и}}$ определяется из условия

$$\Delta z_{\text{к.и}} = - \frac{G_0}{q_0} \Delta i(z, \tau) |_{\tau=\infty}; \\ \Delta i(z, \tau) |_{\tau=\infty} = \left(\frac{\Delta i(z, s)}{\Delta x(s)} \right) |_{s=0} \Delta x.$$

Коэффициент усиления пароперегревателя по каналу степенью сухости Δx — энтальпия $\Delta i(z, \tau)$ получен решением системы уравнений (7)–(12), преобразованной по Лапласу для координаты z , исключением переменной $\Delta \theta$ и приравниванием к нулю параметра s . Тогда координата $\Delta z_{\text{к.и}}$ вычисляется по формуле:

$$\Delta z_{\text{к.и}} = - \frac{i_x G_0 + \theta_3}{g_0} \Delta x,$$

где i_x — коэффициент, определяемый по [4].

Для координаты $z_{\text{к.и}}$ можно записать: $z_{\text{к.и}} = z_{\text{к.и.0}} + \Delta z_{\text{к.и}}$. Таким образом, получены аналитические зависимости, позволяющие определить изменение температуры металла в любой точке участка ПП, в котором движется двухфазный поток и границы этого участка ПП в результате изменения степени сухости пара на выходе из ВС.

Предложенная математическая модель проходит экспериментальную проверку на блоках СКД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы регулирования узла встроенного сепаратора / В.К. Судиловский, Ю.В. Мулев, А.В. Щербич, В.Г. Билуха // Науч. и прикл. пробл. энергетики. — Мн.: Выш. шк. — Вып. 13. — С. 20–23.
2. Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика парогенераторов. — М.: Энергоиздат, 1981. — 408 с.
3. Делайе Дж., Гно М., Ритмюллер М. Теплообмен и гидродинамика в атомной и тепловой энергетике. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 424 с.
4. Судиловский В.К., Щербич А.В. Расчет динамических характе-

ристик встроенных сепараторов сложных энергоблоков // Науч. и прикл. пробл. энергетики. — Мн.: Выш. шк. — Вып. 14. — С. 71–73. 5. К о р о л ь к о в Б.П. Специальные функции для исследования динамики нестационарного теплообмена. — М.: Наука, 1976. — 220 с.

УДК 541.628

А.В. КОЧЕТКОВ, И.А. ГИЛИС,
Р.В. МОНТВИЛАС

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЮЧЕЙ ПЕНЫ

В настоящее время уделяется большое внимание созданию безотходных производств в различных областях промышленности, что связано с созданием и исследованием новых более эффективных методов обезвреживания стоков.

Разработан метод термического обезвреживания стоков, загрязненных поверхностно-активными веществами (ПАВ). Суть метода заключается в том, что сточные воды путем барботажа горючего газа и воздуха превращаются в статически устойчивую ячеистую горючую пену, которая сжигается и тем самым уничтожаются вредные органические соединения.

Разработка реальных конструкций установок по сжиганию стоков в пенообразном состоянии требует совершенствования методов расчета процессов тепломассообмена, происходящих в них. Расход газообразного топлива, условия и режим горения такой пены зависят (помимо других факторов) от геометрических характеристик создаваемой пены.

Определим основные геометрические характеристики трехкомпонентной горючей пены, состоящей из раствора ПАВ (объемный расход Q_f), воздуха (объемный расход Q_B) и горючего газа (объемный расход Q_r).

В момент отрыва газовых пузырьков от сопла существует равновесие подъемной силы и силы поверхностного натяжения τ , е.

$$\pi d_0^3 \sigma = \frac{\pi d_B^3}{6} (\rho_f - \rho_B) g : \pi d_0^3 \sigma = \frac{\pi d_r^3}{6} (\rho_f - \rho_r) g, \quad (1)$$

где d_0 — диаметр барботажного сопла, м; σ — коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; d_B , d_r — диаметры пенных пузырей, заполненных воздухом и горючим газом, м; ρ_f , ρ_B , ρ_r — плотность жидкости, воздуха и горючего газа соответственно, кг/м³.

Из уравнения (1) выразим

$$d_r = k d_B = 2,451 k a_B,$$

где k — коэффициент:

$$k = \sqrt[3]{\frac{\rho_f - \rho_B}{\rho_f - \rho_r}};$$