

УДК 681.516.73

ДЗЮБА А.В., ассистент (ДонНТУ)

Особенности математической модели нагрева воды и парообразования в котлоагрегатах СКД

Актуальность проблемы

Теплоэнергетика является одной из наиболее отраслей развития для Украины в современных условиях. Важная роль теплосиловых установок выдвигает повышенные требования к качеству регулирования. Большая часть теплоэлектростанций используют паротурбинные установки, получающие пар от котлоагрегатов. Повысить надежность и продлить срок службы теплоэнергетического оборудования можно управляя переходными режимами работы котлоагрегата СКД таким образом, чтобы исключить значительные скачки температур во времени и пространстве в теплоэнергетическом оборудовании котла. Для решения задачи управления траекториями переходных процессов необходимо разработать достаточно точную математическую модель, которая будет учитывать пространственную распределенность основных параметров котлоагрегата.

Постановка задачи

Процесс нагрева воды и парообразования в топочном пространстве котла является достаточно сложным. Для его моделирования необходимо учитывать основные статьи теплового баланса в топочном пространстве и теплофизических свойств воды и водяного пара, которые зависят от температуры и давления, а также с учетом расхода тепла на фазовый переход воды в пар. Однако большое количество параметров, которые необходимо учитывать и измерять существенно

усложняет построение точной модели такого процесса. Поэтому целесообразно будет перейти к модели с определенными упрощениями, которая при этом будет точно отражать тепловые и гидродинамические процессы в топочном пространстве котлоагрегата.

Основной материал

Модель должна учитывать основные статьи теплового баланса в топочном пространстве (внешний теплообмен):

- тепловыделение при сжигании топлива,
- поглощение тепла металлическими поверхностями труб экранов,
- теплопередачу к пароводяной смеси,
- поглощение тепла металлическими поверхностями перепонки экрана,
- тепловые потери через несущую стенку котла в окружающую среду.

Моделирование внутреннего теплообмена должно проводиться с учетом теплофизических свойств воды и водяного пара, которые зависят от температуры и давления, а также с учетом расхода тепла на фазовый переход воды в пар (скрытой теплоты парообразования).

Основные параметры внешнего теплообмена полагаются изменяющимися по высоте топочного пространства по ходу движения продуктов горения, возникающих при сжигании топлива. Задача внутреннего теплообмена решается только для одной трубы пакета. Для описания изменения параметров пароводяной смеси используется другая пространственная координата, что позволяет рассматривать фактическую

скорость движения пароводяной смеси относительно моделируемой трубы. Между обеими координатами устанавливается простая взаимосвязь, позволяющая проводить совместный расчет задач внешнего и внутреннего теплообменов. Таким образом, движущаяся смесь в трубе имеет кроме

абсолютной скорости также и скорость относительно координаты y (по высоте топки котла).

Основные тепловые потоки в топочном пространстве представлены на рис.1.

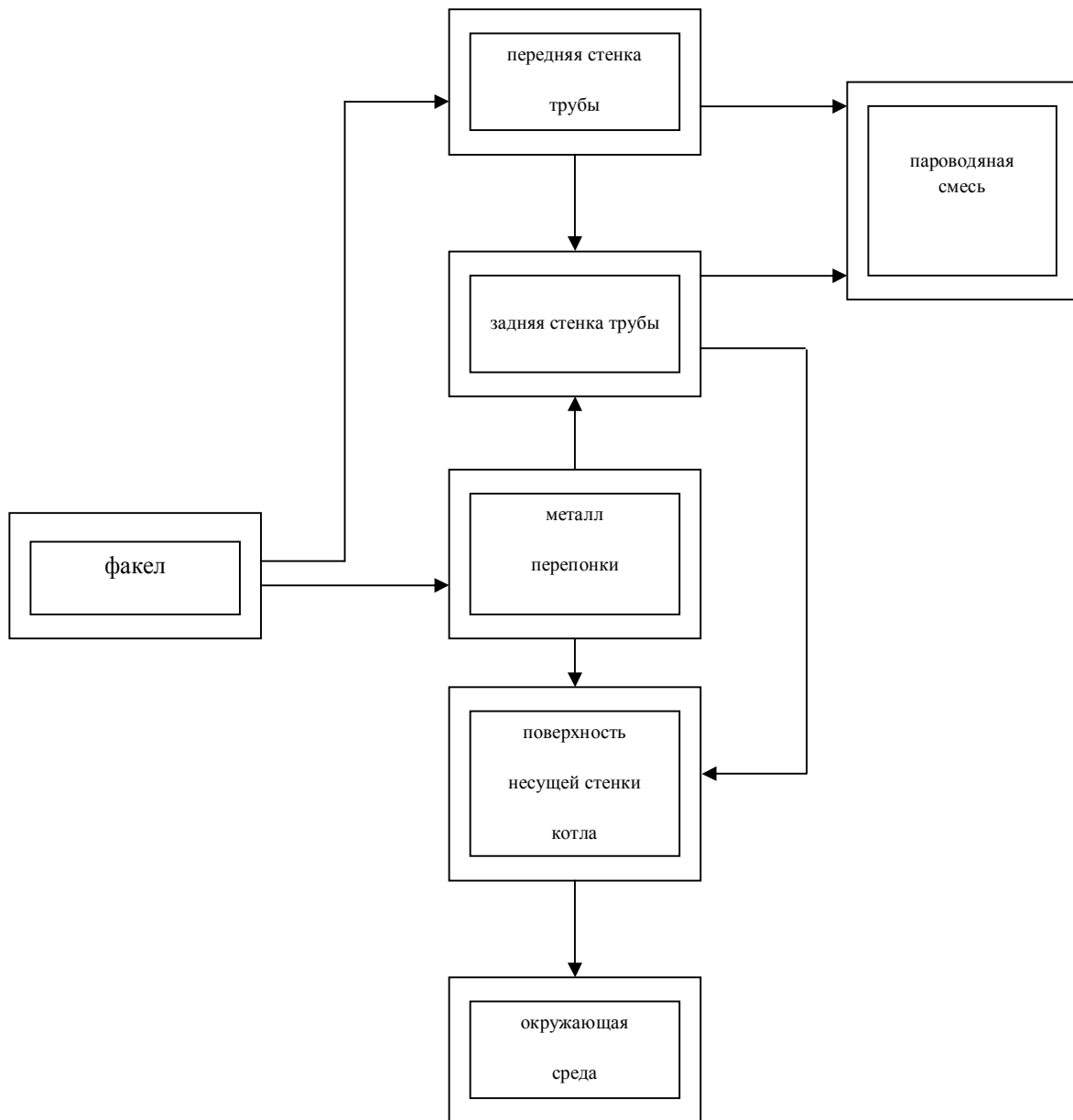


Рис. 1. Структурная схема передачи тепла в топке котла от факела к тепловоспринимающим поверхностям

Наиболее сложным для построения моделирования является необходимость учета теплопередачи между неравномерно

нагреваемыми передней и задней стенками трубы, а также металлическими перепонками. При этом процессы

теплопередачи между всеми составляющими трубы не оказывают существенного влияния на нагрев пароводяной смеси в трубе. Поэтому для моделирования целесообразно рассматривать трубу как однородный объект. Также имеет смысл учитывать тепловые потоки от факела конвекцией и излучением суммарно. Такие допущения не ухудшат точность математической

модели, поскольку будут учитывать пространственную распределенность основных параметров котла, но при этом значительно упростят расчет основных параметров технологических режимов производства пара.

Таким образом, в модель войдут следующие соотношения. Процесс нагрева внешней стенки трубы описывает балансовое соотношение

$$S_T C_T \rho_T \frac{\partial t_1(\tau, y)}{\partial \tau} = \alpha^\Sigma (t_\Phi(\tau, y) - t_1(\tau, y)) - \alpha_2^1 (t_1(\tau, y) - t_s(\tau, y)), \quad (1)$$

$$t_1(0, y) = t_1^0(y),$$

где: S_T - толщина стенки трубы; C_T - коэффициент теплопроводности металла трубы; ρ_T - плотность металла трубы; t_1 - температура стенок трубы; t_Φ - температура факела; α^Σ - суммарный коэффициент конвективной теплопередачи конвекцией и излучением

от факела к стенкам трубы; α_2^1 - коэффициент теплопередачи от стенок трубы к воде; t_1^0 - начальное распределение температуры в передней стенке трубы;

Расчет температуры факела по высоте котла выполняется на основе следующего балансового уравнения:

$$S_\Phi C_{nz} v_{nz} \frac{\partial t_\Phi(\tau, y)}{\partial y} = -\frac{\partial q_f}{\partial y} \varepsilon + P_T [\alpha^\Sigma (t_\Phi(\tau, y) - t_1(\tau, y)) + \alpha_{noc}^\Sigma (t_\Phi(\tau, y) - t_{noc}(\tau, y))], \quad (2)$$

где: S_Φ - сечение факела; C_{nz} - коэффициент теплоемкости продуктов горения; v_{nz} - скорости движения продуктов горения; q_f - средний химический недожог (полагаем изменяющимся по экспоненте по высоте факела); ε - температура горения топлива; P_T - периметр трубы в поперечном сечении топки, α_{noc}^Σ - суммарный коэффициент теплопередачи в окружающую среду, t_{noc} - температура окружающей среды.

Для того чтобы учесть потери тепла на фазовый переход и гидравлическое сопротивление при движении в трубе пароводяной смеси, рассматривается гидродинамическая модель движения смеси в трубе.

Уравнение неразрывности представим в виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial (V_s \rho)}{\partial \xi} = 0 \quad (3)$$

где ξ - координата по длине трубопровода; S - сечение трубы, $S = \text{const}$; ρ - плотность пароводяной смеси; v_s - скорость движения смеси в трубе, V - удельный объём.

Уравнение движения для одномерного течения смеси:

$$\rho \frac{DV_s}{\partial \tau} + \frac{\partial P}{\partial \xi} + g\rho \frac{\partial h}{\partial \xi} + f_z = 0 \quad (4)$$

где f_z - гидравлическое

сопротивление, отнесенное к единице длины трубы и к единице его сечения.

Уравнение сохранения энергии принимает следующий вид:

$$S \cdot \rho \left(\frac{\partial i}{\partial \tau} + V_s \frac{\partial i}{\partial \xi} \right) - S \left(\frac{\partial P}{\partial \tau} + V_s \frac{\partial P}{\partial \xi} \right) = q_{ct} + SV_s f_z \quad (5)$$

где P – давление, i – энтальпия смеси
 q_{ct} – тепловой поток от стенки трубы к пароводяной смеси, приходящийся на единицу трубы.

Выводы

Таким образом, полученная математическая модель позволяет упростить расчет основных параметров технологических режимов производства пара в котлоагрегатах СКД, не снижая точности, а также разработать алгоритм управления температурной средой до встроенной задвижки путем изменения расхода топлива. Актуальной задачей является ее адаптация в реальном масштабе времени.

Список литературы

1. Bell, R. D., Astrom, K. J. Dynamic models for boiler-turbine-alternator units: Data logs and parameter estimation for a 160 MW unit. Report TFRT-3192, Lund Institute of Technology, Sweden, 2001
2. Дзюба А.В. Расчет основных параметров технологических режимов производства пара в котлоагрегатах СКД// Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 12 (118). – Донецьк: ДонНТУ, 2007 р.-, с. 17-22.

3. IAPWS «Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam. International Association for the Properties of Water and Steam» / Executive Secretary R.B. Dooley. Electric Power Research Institute. Palo Alto. CA 94304, USA, 1997

Аннотации

В работе приведены результаты исследования по упрощению математической модели нагрева воды и парообразования в котлоагрегатах СКД за счет рассмотрения трубы как однородного объекта и суммарного учета тепловых потоков от факела конвекцией и излучением.

Ключевые слова: котлоагрегат, тепловые потоки, математическая модель

У цій статті наведено результати дослідження щодо спрощення математичної моделі нагріву води та пароутворення у котлоагрегатах НКТ за рахунок розгляду труби як однорідного об'єкту та сумарного врахування теплових потоків від факела конвекцією і випромінюванням.

Ключові слова: котлоагрегат, теплові процеси, математична модель

Current paper presents method that simplify the mathematical model of water heating and steam generation in furnace space in super critical pressure steam boilers by consideration pipe as homogeneous object and the total account the heat flow from the plume convection and radiation.

Keywords: steam boiler, heat flow, mathematical model

