

со стороны регулятора турбины. Параметры его настройки определим по формулам

$$T_{д1} = T_3 T_5 T_6 / 2T_4 T'_э; \quad k_{д1} = T_{окд} / T_{д1} k_p. \quad (11)$$

Хорошие результаты дает эмпирическая формула

$$T_{д1} = (T_3 T_5 T_6 / 2T_4)^{2/3}, \quad (12)$$

позволяющая уменьшить погрешность вычислений, связанную с использованием приведенной  $T'_э$ .

Предлагаемый метод опробован на энергоблоках Лукомльской ГРЭС в системе регулирования мощности, структурная схема которой приведена на рис. 1, б. Применение его рекомендуется в АСР, основные контуры и выходные параметры которых определяют, например, экономичность установки. При этом автономность работы рассматриваемой системы обеспечивается только по отношению к второстепенным контурам.

Получая дополнительную возможность влиять на динамику поведения системы за счет взаимных связей, координированные контуры можно оптимизировать в соответствии с технологическими требованиями как одну многосвязную АСР.

#### Литература

1. Морозовский В.Т. Многосвязные системы автоматического регулирования. - М.: Энергия, 1970. - 288 с.
2. Биленко В.А., Давыдов Н.И. Вопросы автономности в связанных двухконтурных системах автоматического регулирования современных энергоблоков. - Теплоэнергетика, 1979, № 12, с. 32-38.
3. Мееров М.В. Системы многосвязного регулирования. - М.: Физматгиз, 1965. - 384 с.
4. Мееров М.В., Литвак Б.Л. Оптимизация систем многосвязного управления. - М.: Наука, 1972. - 344 с.

УДК 536.244/66.021.93/66.074.7

А.М.Заватко, канд. техн. наук, Л.И.Тарасевич, канд. техн. наук, Г.А.Фатеев, канд. техн. наук (БПИ)

#### ТЕПЛОЙ РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ЦИКЛ В СИСТЕМЕ ЧЕТЫРЕХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПОТОКОВ

При термической обработке слоев дисперсного материала и газовых потоков целесообразно организовать взаимодействие между ними таким образом, чтобы потоки входили в реактор и

выходили из него примерно с одинаковыми температурами, а тепловые процессы замыкались внутри реактора.

На рис. 1 представлена схема четырех потоков, взаимодействие между которыми приводит к круговой рециркуляции тепла. Два потока  $s = 1; 3$  являются плотными слоями дисперсного материала, а два других  $q = 2; 4$  - потоками газа. Условия теплообмена заданы соответственно условиями тепловой регенерации адсорбционных систем

$$a_s = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; (\rho c)_s = 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К});$$

$$v_s = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}/\text{с}; (\rho v c)_g = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$\alpha_{s,g} = 30000 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}); \delta_g = 0,1 \text{ м},$$

где  $a, \rho, c$  - коэффициенты температуропроводности, плотность, удельная теплоемкость соответственно;  $v$  - скорость потока;  $\alpha$  - объемный коэффициент теплообмена;  $s = 1; 3; q = 2; 4$ .

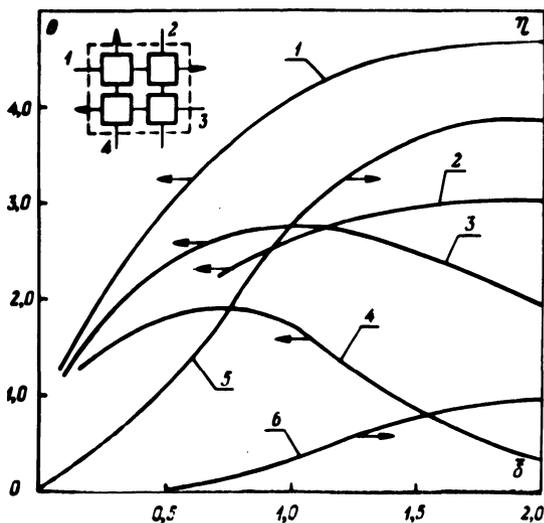


Рис. 1. Значения относительных температур в слое дисперсного материала на выходе из зоны теплообмена I на различных уровнях от основания слоя: 1 -  $y = 0$ ; 2 - 0,5; 4 -  $y = \delta$ ; 3 - среднеинтегральная температура в течении слоя; 5, 6 - относительные расходы тепла, переносимого слоем на выходе из зон I и II соответственно.

Газовые потоки между зонами I, IV и II, III перемещаются струйно без перемешивания и нагреваются за счет подвода тепла мощностью  $q_g = 40000 \text{ Вт}/\text{м}^2$  ( $q = 2; 4$ ), где  $q$  - удельная мощность нагревателя.

Перенос тепла в каждой зоне теплообмена описывается уравнением

$$v_s \frac{\partial t_s(y, x)}{\partial x} = a_{s,g} \frac{\partial^2 t(y, x)}{\partial y^2} - u_{s,g} \frac{\partial t_s(y, x)}{\partial y}, \quad (1)$$

где  $t$  - температура;  $x, y$  - продольная и поперечная координата слоя;

$$a_{s,g} = \frac{(\rho v c)_g^2 \alpha_{s,g}}{(\rho c)_s}; \quad u_{s,g} = \frac{(\rho v c)_g}{(\rho c)_s} \quad (s = 1; 3; g = 2; 4).$$

Интегрирование системы уравнений (1) выполнено методом прогонки на ЭКВМ 15ВСМ5. Результаты численного анализа представлены на рис. 1, где  $\theta$  - относительная температура ( $\theta = \frac{t - t_0}{t^*}$ );  $\delta$  - относительная высота потока ( $\bar{\delta} = \delta / \delta^*$ );

$\eta$  - отношение расхода тепла, переносимого потоком к мощности нагревателя ( $\eta = \frac{\rho v c (t - t_0)}{g}$ );  $t_0$  - исходная температура потока.

В основу выбора масштаба высоты слоя положено равенство тепловых эквивалентов дисперсного и газового потоков

$$(\rho v c \delta)_g = (\rho v c)_s \delta^* \quad (s = 1, g = 2).$$

Для принятых значений параметров  $\delta^* = 0,1$  м. За единицу масштаба температуры принято ее значение

$$t^* = \frac{q_g}{(\rho v c)_g} \quad (g = 2),$$

соответственно равно 200 К.

Как следует из рис. 1, поток тепла, циркулирующий в системе, может вчетверо превосходить мощность нагревателя (кривая 5). При номинальном значении средней температуры слоя ( $\bar{\delta}_s = 1$ ) тепловая эффективность составляет 2,7 (кривая 5). Слой дисперсного материала меняет относительную температуру с 0 на входе в реактор до 0,36 на выходе. В рабочей зоне реактора средняя температура слоя составляет 2,78. Газовый поток соответственно приобретает температуры 0 на входе; 3,14 - в рабочей зоне; 0,64 - на выходе из реактора.

Рассмотренный процесс может быть рекомендован в тех случаях, когда активация физико-химических превращений или равновесные соотношения достигаются при высоких температурах. Сами превращения являются малоэнергоемкими.