

канала допустимая с технологической точки зрения скорость в рабочей части рециркуляционной печи увеличивается. Это увеличение можно определить только экспериментальным путем. Увеличение скорости и соответствующей производительности поведет к возможности уменьшения дросселирования, что в свою очередь вызовет повышение температуры — улучшения теплового режима и приближения его к технологическому оптимуму, т.е. решит основную задачу: определения внутреннего сечения рабочей части печи соответствующей одновременно оптимальному с технологической точки зрения тепловому режиму и допустимому динамическому режиму.

#### Л и т е р а т у р а

1. Тархановский В. Вентилятор накаляет детали. — Изобретатель и рационализатор, 1967, № 9. 2. Бромлей М.Ф. Гидравлические машины и холодильные установки. М., 1971. 3. Калицун В.И. и др. Основы гидравлики, водоснабжения и канализации. М., 1972. 4. Альтшуль А.С. Гидравлика и аэродинамика. М., 1965.

УДК 536.244

Г.А.Фатеев, канд.техн.наук,  
Л.И.Тарасевич, канд.техн.наук

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ САМОРЕГУЛИРУЕМОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА С ДВИЖУЩЕЙСЯ ТЕПЛОВОЙ ВОЛНОЙ

В [1] рассмотрена методика расчета параметров саморегулируемого источника тепла, предназначенного для термической обработки пористых тел в режиме незатухающих тепловых волн. Саморегулируемый источник тепла (рис. 1) представляет собой цепь последовательно соединенных электрического нагревателя (спирали) 1 и термочувствительного элемента (термистора) 2, подсоединенных к источнику постоянного напряжения. Когда тепловая волна еще не достигла источника тепла (положение I, рис. 1, 2) и он находится в холодном потоке, термистор имеет высокое сопротивление и источник отключен. По мере повышения температуры потока (положение II, рис. 1) источник включается, выходит на номинальный режим (положение III, рис. 1), а затем отключается (положение IV, рис. 1).

Если применить метод разложения экспоненты, то мощность, выделяемая на термисторе, опишется выражением (кривая 1, рис. 2)

$$\bar{W}_T = \frac{W_T}{W_0} = \frac{\bar{R}}{(1+\bar{R})^2}; \quad W_0 = \frac{U^2}{R_{сп}}; \quad (1)$$

$$\bar{R} = \frac{R_{сп}}{R_T} = \exp \theta; \quad \theta = \alpha_T t + \ln \frac{R_{сп}}{R_0},$$

которое следует рассматривать вместе с уравнением конвективного теплообмена (система прямых I-IY, рис. 2)

$$\bar{W}_\Pi = K(\theta - \theta_\Pi); \quad K = \frac{\alpha S}{\alpha_T W_0}; \quad \theta_\Pi = \alpha_T t_\Pi + \ln \frac{R_{сп}}{R_0}, \quad (2)$$

Здесь  $\alpha_T$  - температурный коэффициент сопротивления,  $t$  - температура;  $R$  - сопротивление;  $W$  - мощность;  $R_0$  - сопротивление термистора при  $t = 0$ ;  $\alpha$ ,  $S$  - коэффициент и поверхность теплообмена термистора; индексы: сп - относится к спирали; т - термистору, п - потоку.

Относительные мощности, выделяемые на спирали  $W_{сп}$  (кривая 2, рис. 2) и всех источниках  $\bar{W}_\Sigma$  (кривая 3), определяются так:

$$\bar{W}_{сп} = \frac{W_{сп}}{W_0} = \bar{R} W_T; \quad \bar{W}_\Sigma = \frac{W_\Sigma}{W_0} = \sqrt{\bar{W}_{сп}}.$$

Эффект включения и отклонения источника тепла связан с положением прямой конвективного охлаждения (прямые I-- IY, рис. 2) относительно кривой мощности 1. Согласно (2) смещение прямой может быть достигнуто не только за счет изменения температуры потока  $t_\Pi$ , но и изменения сопротивления спирали  $R_{сп}$ . Эта закономерность положена в основу экспериментального моделирования взаимодействия саморегулируемого источника тепла с движущейся тепловой волной.

На рис. 3. показана схема экспериментальной установки. Здесь же указаны значения дополнительных сопротивлений в позициях переключателя I-X ( $i = 1-10$ ), соответствующие изменению температуры потока в пределах от  $20^\circ\text{C}$  (температу-

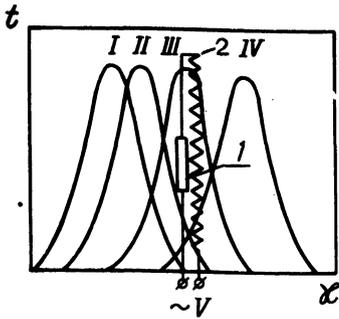


Рис. 1. Относительные положения тепловой волны (I, II, III, IV): 1 – термистор; 2 – электрический нагреватель.

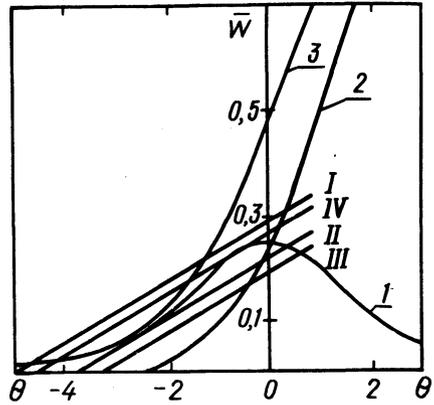


Рис. 2. Кривые относительных мощностей, выделяемых на термисторе 1, спирали 2, источнике 3; I, II, III, IV – прямые конвективного охлаждения при различном положении тепловой волны и термистора.

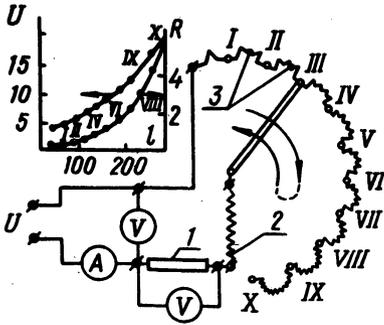


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – термистор СТ2-27; 2 – спираль; 3 – дополнительные сопротивления.

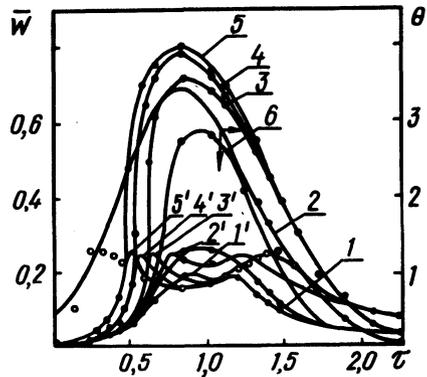


Рис. 4. Кривые относительных мощностей, выделяемых на термисторе (1–5') и источнике (1–5), при взаимодействии его с тепловыми волнами разной толщины: 1 –  $\delta = 0,05$  м; 2 – 0,1; 3 – 0,2; 4 – 0,4 волны. Экспериментальные точки соответствуют равновесным значениям относительной мощности термистора.

ра среды в эксперименте) до  $300^{\circ}\text{C}$  (амплитуда тепловой волны) с шагом  $\Delta t = 28^{\circ}\text{C}$

$$\ln \frac{R_i}{R_{\text{сп}}} = \alpha_T i \Delta t \quad (i=1,2,\dots,10).$$

Сопротивление спирали  $2 R_{\text{сп}}$  (рис. 3) равно  $0,2 \text{ Ом}$ , величина  $\alpha_T$  в исследуемом диапазоне температур принята равной  $0,0123 \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$ . Предельная мощность  $W_0$  выбрана из соображений допустимой силы тока на термисторе  $5,5\text{А}$  и равна  $72,6 \text{ Вт}$ . Величина напряжения на источнике корректировалась с подключением каждого дополнительного сопротивления исходя из требований постоянства величины  $K$  в уравнении (2). Соответствие напряжения величинам подключаемых сопротивлений показано на рис. 3.

На рис. 4 представлены графики изменения мощности, выделяемой на термисторе и всем источнике для различных масштабов тепловой волны, задаваемых ее приведенной толщиной

$$\delta = \frac{1}{t_{\text{max}} - t_0} \int_{-\infty}^{+\infty} (t - t_c) dx.$$

Моменты прямого и обратного переключения сопротивлений в позициях I-X ( $i = 1-10$ ) с целью воспроизведения гауссовского профиля тепловой волны (кривая 6, рис. 4) определялись по формуле

$$\tau = \frac{\delta}{u\sqrt{\pi}} \bar{\tau} ; \quad \bar{\tau} = \sqrt{\ln 10} \mp \sqrt{\ln(10/i)}. \quad (3)$$

Знак "минус" в уравнении (3) соответствует прямому переключению сопротивлений ( $i = 1,2, \dots, 10$ , восходящая ветка температурной кривой), "плюс" - обратному ( $i = 10, 9, \dots, 1$ , нисходящая ветка).

Скорость движения тепловой волны принята равной  $u = 0,265 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ , что соответствует скорости фильтрации потока воздуха  $0,2 \text{ м/с}$  через слой цеолита.

#### Л и т е р а т у р а

1. Заватко А.М. и др. Моделирование реакционного теплообмена при термической обработке плотного слоя в режиме тепловых волн. - В сб. Научные и прикладные проблемы энергетики, вып. 5. Минск, 1978.