

**АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА НА ЭЦВМ  
ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МОДЕЛИ  
ТЕПЛООБМЕННИКА С ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ  
ГРЕЮЩЕГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

П. А. АНДРИЯНОВ, А. Ф. ФЕДОРОВ

(Представлена научной итоговой конференцией химико-технологического факультета)

Группа теплообменников с постоянной температурой греющего теплоносителя (паровые теплообменники, конденсаторы-холодильники) весьма широко распространена на предприятиях химической промышленности. Знание динамических характеристик теплообменников становится необходимым не только в производственных условиях, но и в период проектирования для целей их оптимизации, а это возможно при наличии математических выражений, связывающих конструктивные и технологические параметры в переходных режимах.

В данной статье предлагается обобщенный алгоритм расчета переходных режимов теплообменников на ЭЦВМ при различных законах возмущения со стороны температуры греющего теплоносителя и температуры на входе нагреваемого теплоносителя. При этом теплообменник рассматривается как объект с распределенными параметрами.

Исходное уравнение имеет вид [1]

$$T_{12}T_{23}v \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x \partial \tau} + (T_{21} + T_{23}) \frac{T_{12}}{T_{21}} v \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial x} + T_{12}T_{23} \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial \tau^2} + \left( T_{12} + \frac{T_{12}T_{23}}{T_{21}} + T_{23} \right) \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + t_1(x, \tau) = t_3(\tau). \quad (1)$$

Передаточная функция

$$W(p) = W_c(p) [1 - W_p(p)] + W_p(p), \quad (2)$$

где  $W_c(p) = \frac{1}{(T'p + 1)(T''p + 1)}$  — передаточная функция сосредоточенной модели;

$W_p(p) = \exp\left(-\frac{\tau_0}{T_{12}}\right) \exp(-\tau_0 p) \exp\left[\frac{\tau_0}{T_{12}T_{21}\left(p + \frac{T_{21} + T_{23}}{T_{21}T_{23}}\right)}\right]$  — передаточная функция, учитывающая влияние распределенности; одновременно является и передаточной функцией по каналу  $t_0 - t_1(l, \tau)$ .

Применяя обратное преобразование Лапласа к выражению (2) и теорему о вещественном свертывании, получим общее выражение для переходной характеристики.

1. При возмущении со стороны температуры греющего теплоносителя.

В интервале  $[0, \tau_0]$

$$t_1(l, \tau) = \varphi(\tau).$$

В интервале  $(\tau_0, \infty]$

$$t_1(l, \tau) = \varphi(\tau) - \exp\left(-\frac{\tau_0}{T_{12}}\right) \left\{ \varphi(\tau - \tau_0) + \int_0^{\tau - \tau_0} \varphi(\tau - z - \tau_0) \exp \times \right. \\ \left. \times \left(-\frac{T_{21} + T_{23}}{T_{21}T_{23}} z\right) \sum_{\kappa=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\tau_0}{T_{12}T_{21}}\right)^{\kappa+1} z^{\kappa}}{\kappa!(\kappa+1)!} dz \right\}, \quad (3)$$

где  $\varphi(\tau)$  — реакция сосредоточенной модели на возмущение:

а) при скачкообразном возмущении

$$\varphi(\tau) = \left[ 1 - \frac{T'}{T' - T''} \exp\left(-\frac{\tau}{T'}\right) + \frac{T'}{T' - T''} \exp\left(-\frac{\tau}{T''}\right) \right] t_3; \quad (4)$$

б) при линейном возмущении

$$\varphi(\tau) = \left[ \tau - (T' + T'') + \frac{(T')^2}{T' - T''} \exp\left(-\frac{\tau}{T'}\right) - \frac{(T'')^2}{T' - T''} \exp\left(-\frac{\tau}{T''}\right) \right] \frac{t_3'}{\tau_1}; \quad (5)$$

в) при экспоненциальном возмущении

$$\varphi(\tau) = \left[ \frac{T'T}{(T' - T'')(T' - T)} \exp\left(-\frac{\tau}{T'}\right) - \frac{T''T}{(T' - T'')(T'' - T)} \times \right. \\ \left. \times \exp\left(-\frac{\tau}{T''}\right) + \frac{T^2}{(T' - T)(T'' - T)} \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) \right] t_3'. \quad (6)$$

2. При возмущении со стороны температуры на входе нагреваемого теплоносителя. интервале  $[0, \tau_0]$

$$t_1(l, \tau) = 0.$$

В интервале  $[\tau_0, \infty]$

$$t_1(l, \tau) = \exp\left(-\frac{\tau_0}{T_{12}}\right) \left\{ \varphi_0(\tau - \tau_0) + \int_0^{\tau - \tau_0} \varphi_0(\tau - z - \tau_0) \times \right. \\ \left. \times \exp\left(-\frac{T_{21} + T_{23}}{T_{21}T_{23}} z\right) \sum_{\kappa=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\tau_0}{T_{12}T_{21}}\right)^{\kappa+1} z^{\kappa}}{\kappa!(\kappa+1)!} dz \right\}, \quad (7)$$

где:  $\varphi_0(\tau - \tau_0)$  и  $\varphi_0(\tau - z - \tau_0)$  — реакция сосредоточенной модели ( $W_c(p) = 1$ ) на возмущение по заданному закону, сдвинутая по времени на  $\tau_0$  или  $z + \tau_0$  соответственно. Выражения их аналогичны выражениям для теплообменников с внутренними источниками тепла.

На рис. 1 приведены кривые переходных процессов по каналу  $t_3 - t_1$ , рассчитанные на машине Минск-1 по приведенным алгоритмам.

Как и для теплообменников с внутренними источниками тепла, интеграл в выражениях (3) и (7) после подстановки значений  $\varphi(\tau - z - \tau_0)$  и  $\varphi_0(\tau - z - \tau_0)$  можно разложить на сумму табличных интегралов [2]. После преобразований вместо интеграла из (3) при скачкообразном возмущении будем иметь следующее выражение

$$\int_0^{\tau - \tau_0} \varphi(\tau - z - \tau_0) \exp\left(-\frac{T_{21} + T_{23}}{T_{21}T_{23}} z\right) \sum_{\kappa=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\tau_0}{T_{12}T_{21}}\right)^{\kappa+1} z^{\kappa}}{\kappa!(\kappa+1)!} dz = \\ = t_3 \sum_{\kappa=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{\tau_0}{T_{12}T_{21}}\right)^{\kappa+1}}{\kappa!(\kappa+1)!} \left\{ \left(-\frac{T_{21} + T_{23}}{T_{21}T_{23}}\right)^{\kappa} - \frac{T_{21} + T_{23}}{T_{21}T_{23}} (\tau - \tau_0) \left[ -\frac{T_{21}T_{23}}{T_{21} + T_{23}} (\tau - \tau_0)^{\kappa} + \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{m=1}^{\kappa} (-1)^m \frac{\kappa(\kappa-1)\dots(\kappa-m+1)}{\left(-\frac{T_{21}+T_{23}}{T_{21}T_{23}}\right)^{m+1}} (\tau-\tau_0)^{\kappa-m} \left] - \frac{T'}{T'-T''} \times \right. \\
& \times \exp\left(-\frac{\tau-\tau_0}{T'}\right) \left(\frac{1}{T'} - \frac{T_{21}T_{23}}{T_{21}+T_{23}}\right) \left(\frac{1}{T'} - \frac{T_{21}T_{23}}{T_{21}+T_{23}}\right)^{\tau-\tau_0} \left[ \frac{(\tau-\tau_0)^{\kappa}}{\frac{1}{T'} - \frac{T_{21}T_{23}}{T_{21}+T_{23}}} + \right. \\
& + \sum_{m=1}^{\kappa} (-1)^m \frac{\kappa(\kappa-1)\dots(\kappa-m+1)}{\left(\frac{1}{T'} - \frac{T_{21}T_{23}}{T_{21}+T_{23}}\right)^{m+1}} (\tau-\tau_0)^{\kappa-m} \left] + \frac{T''}{T'-T''} \exp \times \right. \\
& \times \left(-\frac{\tau-\tau_0}{T''}\right) \left(\frac{1}{T''} - \frac{T_{21}T_{23}}{T_{21}+T_{23}}\right) \left(\frac{1}{T''} - \frac{T_{21}T_{23}}{T_{21}+T_{23}}\right)^{\tau-\tau_0} \left[ \frac{(\tau-\tau_0)^{\kappa}}{\frac{1}{T''} - \frac{T_{21}T_{23}}{T_{21}+T_{23}}} + \right. \\
& \left. \left. + \sum_{m=1}^{\kappa} (-1)^m \frac{\kappa(\kappa-1)\dots(\kappa-m+1)}{\left(\frac{1}{T''} - \frac{T_{21}T_{23}}{T_{21}+T_{23}}\right)^{m+1}} (\tau-\tau_0)^{\kappa-m} \right] \right\}.
\end{aligned}$$

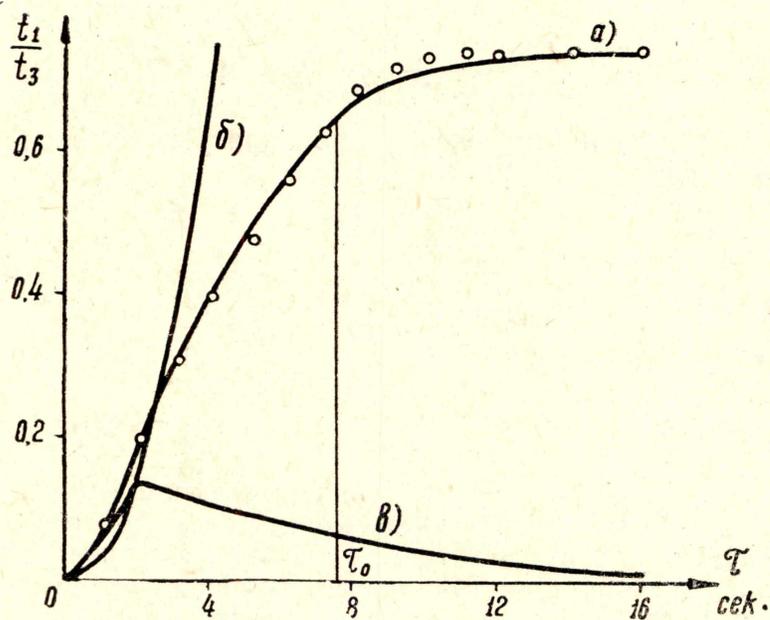


Рис. 1. Переходные функции теплообменника. ○—экспериментальная; — — расчетная: а) при скачкообразном возмущении; б) при линейном возмущении; в) при экспоненциальном возмущении

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. А. Андриянов, И. М. Масленников. Влияние распределенности параметров на динамические свойства теплообменников. Химическая промышленность. № 12, 22—28, 1963.
2. И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. 106, Физматгиз, М., 1962.