

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Գ. Լ. ԱՐԵՎԻԱՆ, Ս. Տ. ЗАХАРЬЯН

РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ КОНТАКТНОГО
АППАРАТА СИНТЕЗА ВИНИЛАЦЕТАТА

Реактор парофазного синтеза винилацетата в стационарном слое катализатора представляет собой трубчатый контактный аппарат с отводом тепла посторонним теплоносителем. В системе автоматического регулирования контактный аппарат, как объект регулирования, представляет собой звено с распределенными по длине реактора параметрами. В настоящей работе приводится аналитический расчет передаточных функций реактора. При этом используются уравнения динамики контактного аппарата, полученные на основе закономерностей химической кинетики, тепло-массообмена. Рассматривается промышленный реактор Ереванского завода «Поливинилацетат» с двумя входами: начальной температурой пирогазовой смеси T_1 и начальной температурой хладагента (масла) $T_{\text{мол}}$. Выходами реактора являются: температура рабочей зоны контактного аппарата («горячая точка») T_{12} и конечная температура хладагента $T_{\text{кон}}$.

Статический режим контактного аппарата с достаточной точностью описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dl} = \frac{1}{\tau} \varphi(x, T) \\ \frac{dT}{dl} = A_1 \varphi(x, T) - B_1(T - T_{\text{м}}) \\ \frac{dT_{\text{м}}}{dl} = -B_2(T - T_{\text{м}}), \end{cases} \quad (1)$$

причем

$$\varphi(x, T) = k_0(1-x)Te^{-\frac{E}{RT}}, \quad (2)$$

$$A_1 = \frac{c_0 Q}{v c_v}, \quad (3)$$

где l — текущая длина трубки; T — температура в трубке; $T_{\text{м}}$ — температура масла в межтрубном пространстве; x — степень превращения уксусной кислоты; B_1 , B_2 — параметры теплоотвода, $B_1 = \alpha s_{\text{в}} / \tau c_v$, $B_2 = \alpha s_{\text{м}} / \tau_{\text{м}} c_{\text{м}}$; c_0 , $c_{\text{м}}$ — теплоемкости газов и масла; v , $\tau_{\text{м}}$ — линейные скорости газового потока и масла; α — коэффициент теплоотдачи;

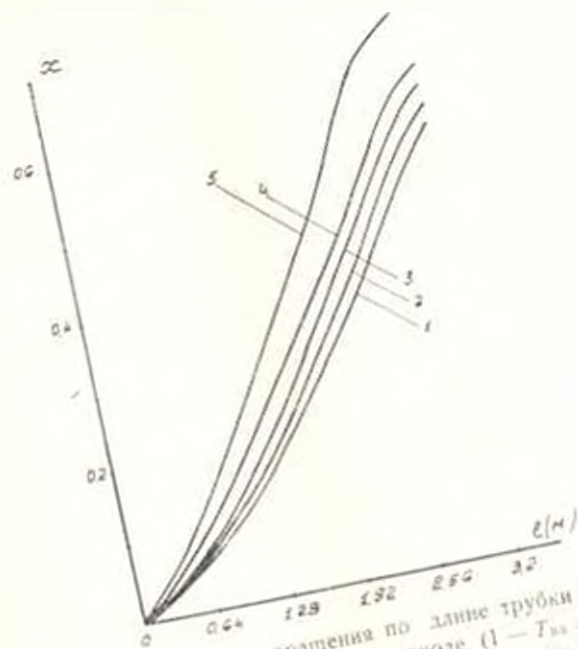
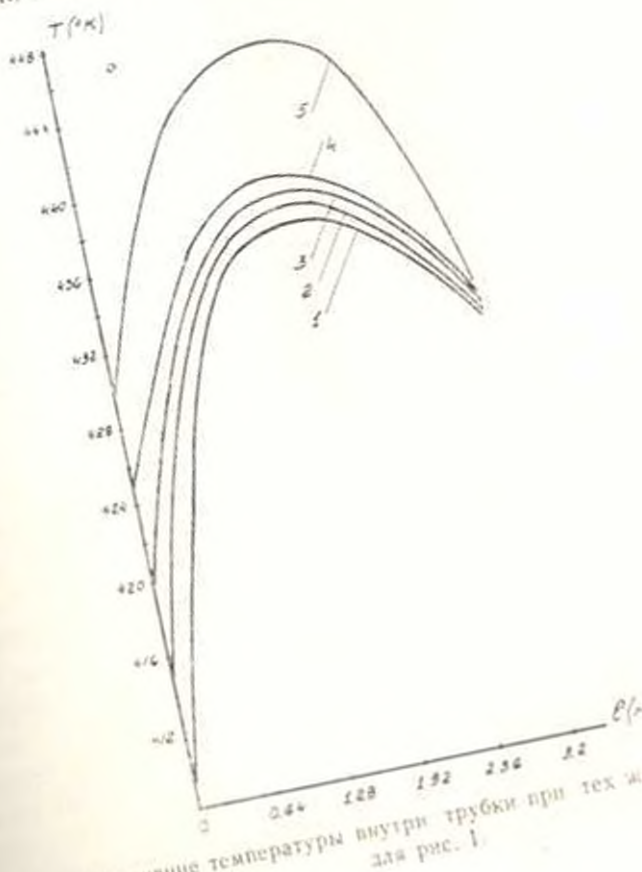


Рис. 1. Изменение степени превращения по длине трубки реактора при различных температурах парогазовой смеси на входе (1 — $T_{вх} = 409$ K; 2 — 415 K; 3 — 420 K; 4 — 425 K; 5 — 430 K) и при температуре масла на входе $T_{мвх} = 420$ K.



Изменение температуры внутри трубки при тех же условиях, что и для рис. 1.

$s_{\text{пл}}$ — удельная поверхность теплоотвода в слое катализатора, $s_{\text{пл}} = 2/R_0$; R_0 , L — радиус и длина трубки; E — энергия активации реакции; R — газовая постоянная; Q — теплота реакции; K_0 — константа скорости реакции. Граничные условия системы (1):

при $l = 0$, $x = 0$, $T = T_{\text{пл}}$; при $l = L$, $T_w = T_{\text{пл}}$. (4)

Параметры математического описания и решение уравнений статки (1) для промышленного реактора определены в [1].

По уравнениям (1) вычислены показанные на рисунках 1—3 ста-

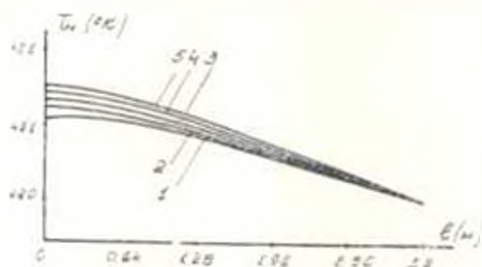


Рис. 3. Изменение температуры масла по длине реактора при тех же условиях, что и для рис. 1.

тические характеристики реактора при различных отклонениях одной входной величины: ($T_{\text{пл}} = 400, 415, 420, 425, 430$) и неизменных значениях другой ($T_{\text{пл}} = 420$). На рисунках 4, 5 показаны зависимости температуры средней зоны $T_{\text{ср}}$ ($l = 1, 2$) и температуры хладагента $T_{\text{хл}}$

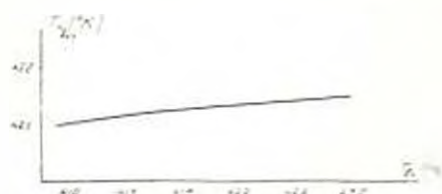


Рис. 4. Зависимость температуры масла при выходе из реактора от температуры парогазовой смеси на входе.

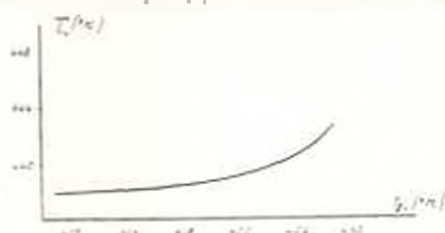


Рис. 5. Зависимость температуры в средней зоне от температуры парогазовой смеси на входе.

на выходе реактора ($l = 0$) от одного из входных параметров ($T_{\text{пл}}$). Графики на рисунках 3 и 5 линейны в достаточно широком интервале изменения входных величин.

На основании математического описания (1) получены уравнения нестационарного режима контактного аппарата

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} + v \frac{\partial x}{\partial l} = \gamma(x, T); \\ B_1 \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial T}{\partial l} = A_1 \gamma(x, T) - B_1 (T - T_w); \\ B_2 \frac{\partial T_w}{\partial t} - \frac{\partial T_w}{\partial l} = B_2 (T - T_w), \end{cases} \quad (5)$$

причем

$$B_1 = \frac{c_k \rho_k}{c_v v},$$

$$B_3 = \frac{1}{c_m v_m},$$

где c_k , ρ_k — теплоемкость и удельный вес катализатора,
 t — время.

Линеаризуя систему уравнений (5) для малых отклонений и преобразуя по Лапласу по переменной t , получаем систему уравнений в обыкновенных производных:

$$\begin{cases} v \frac{dx}{dt} = \left[\left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)_{x_{ст}, T_{ст}} - s \right] \bar{x} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial T} \right)_{x_{ст}, T_{ст}} \bar{T}, \\ \frac{dT}{dt} = (F_1 - B_1 - B_3 s) \bar{T} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)_{x_{ст}, T_{ст}} \bar{x} + B_1 \bar{T}_u, \\ \frac{dT_u}{dt} = -B_2 \bar{T} - (B_2 + B_3 s) \bar{T}_u, \end{cases} \quad (6)$$

где s — оператор Лапласа;

$\bar{x}$, $\bar{T}$, $\bar{T}_u$ — изображения по Лапласу соответствующих отклонений Δx ,

ΔT , ΔT_u от стационарных состояний в данном сечении;

F_1 — коэффициент ряда Тейлора

$$F_1 = A_1 \left(\frac{\partial \psi}{\partial T} \right)_{x_{ст}, T_{ст}}.$$

Здесь A_1 взято из (3), $\psi(x, T)$ — из (2); $T_{ст}$ и $x_{ст}$ — стационарные значения параметров в данном сечении.

Для получения передаточных функций необходимо решить систему (6) трех нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Нелинейность вызвана тем, что $T_{ст}$ и $x_{ст}$ являются функциями параметра l . Для нахождения решения в первом приближении примем $T_{ст}$ и $x_{ст}$ независимыми от l и равными среднему по длине трубки значению, определяемому из статических характеристик. Таким образом, система (6) становится линейной и допускает решение в численном виде (требуется решение детерминанта третьего порядка). Примем также, что степень превращения x мало изменяется при подаче возмущения по каналам масла и парогазовой смеси, т. е. пренебрегаем первым уравнением системы (6). Это допущение несколько искажает действительную картину динамики процесса, но позволяет получить в первом приближении аналитическое решение системы (6), так как при этом требуется решение детерминанта второго порядка, что не составляет особых затруднений.

Обозначим

$$\bar{w}_1(s) = \bar{T} \bar{T}_{u\lambda}; \quad \bar{w}_2(s) = \bar{T}_u \bar{T}_{c\lambda}.$$

Тогда с учетом этих допущений систему (6) можно представить в виде

$$\begin{cases} \frac{d\omega_1}{dt} = (F_1 - B_1 - B_3 s) \omega_1 + B_1 \omega_2; \\ \frac{d\omega_2}{dt} = -B_2 \omega_1 - (B_2 + B_3 s) \omega_2. \end{cases} \quad (7)$$

Граничные условия системы (7) получаются из (4), причем T_{in} — ступенчатая функция

$$\text{при } t=0, \quad \omega_1(s) = 1, \quad \omega_2(s) = 0.$$

Система (7) решается операторным методом. Решение имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \omega_1(s) &= \frac{(B_2 + B_3 s + p_1) e^{p_1 t} + (-B_2 - B_3 s - p_2) e^{p_2 t}}{p_1 - p_2}; \\ \omega_2(s) &= \frac{B_2 (e^{p_1 t} - e^{p_2 t})}{p_1 - p_2}, \end{aligned} \quad (8)$$

где p_1, p_2 — корни уравнения

$$(p - F_1 + B_1 - B_3 s)(p + B_2 + B_3 s) + B_1 B_2 = 0.$$

Производя аналогичные выкладки относительно передаточных функций

$$\omega_2(s) = \frac{\bar{T}}{T_{вых}}, \quad \omega_4(s) = \frac{T_n}{T_{вых}},$$

получим систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{d\omega_3}{dt} = (F_1 - B_1 - B_3 s) \omega_3 + B_1 \omega_4; \\ \frac{d\omega_4}{dt} = -B_2 \omega_3 - (B_2 + B_3 s) \omega_4 \end{cases} \quad (9)$$

с граничными условиями

$$\text{при } t = l, \quad \omega_3(s) = 0, \quad \omega_4(s) = 1.$$

Решение системы (9) имеет вид

$$\begin{aligned} \omega_3(s) &= \frac{B_1 [e^{p_2(l-l)} - e^{p_1(l-l)}]}{p_2 - p_1}; \\ \omega_4(s) &= \frac{(-F_1 + B_1 + B_3 s - p_1) e^{p_1(l-l)} + (F_1 - B_1 - B_3 s + p_2) e^{p_2(l-l)}}{p_2 - p_1}, \end{aligned} \quad (10)$$

где p_1, p_2 — корни уравнения

$$(p - F_1 + B_1 - B_3 s)(p + B_2 + B_3 s) + B_1 B_2 = 0.$$

Для контактного аппарата с параметрами, приведенными в [1], передаточные функции, рассчитанные по (8) и (10), после упрощения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}\omega_1(s) &= 0,445 \frac{1 + 54s}{1 + 58s} e^{-4s}; \\ \omega_2(s) &= 0; \\ \omega_3(s) &= 4,56 \frac{1}{1 + 58s} e^{-2s}; \\ \omega_4(s) &= 1,066 \frac{1 + 56s}{1 + 58s} e^{-2s}.\end{aligned}\quad (11)$$

Приведенный метод определения передаточных функций выгодно отличается от метода [2] тем, что не требуется приближенного перехода от $s = j\omega$ к $s = \omega$ и нахождения численных решений системы (7) при различных $s = \omega$ и их последующей аппроксимации.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 28.VIII.1967.

Պ. Լ. ԱՐԵՇՅԱՆ, Ս. Ս. ԶԱՐԻՅԱՆ

ՎԻՆԿԱՅԵՍԱՏԻ ՈՐԵՐԵՐՈՒ ԿՈՆՏԱԿՏԱՅԻՆ ԱՊԱՐԱՏԻ ՓՈՆԱՆԳՈՒՆ ՖԱԽԱՆԵՅԻՆԻ ՇԱՀՎԱՐԿՈՒՄԸ

Ա. մ. վ. ո. վ. ո. մ.

Ավտոմատ կարգավորման սխեմանում կոնտակտային աղարատն իրենից ներկայացնում է ուսկտորի երկարությամբ բաշխված պարամետրներով օղակ: Հոգնածում առաջարկված է ուսկտորի փախանցման ֆունկցիաների ճաշվարկման անալիտիկ մեթոդ: Փոխանցման ֆունկցիաները որոշվում են կոնտակտային աղարատի դինամիկան պատկերող մասնակի ածանցյալներով դիֆերենցիալ հավասարումների սխեմանից: Փոխանցման ֆունկցիաների ճաշվարկումը դիտված է կատարիդատորի կայուն շերտում վինիլացետատի շոգեղաղային սինթեզի արդյունաբերական ուսկտորի օրինակով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арсисян Г. А., Захарьян С. С. Сб. тр. факультета технической кибернетики Ереванского политехнического института.
2. Сб. тр. „Моделирование и оптимизация каталитических процессов“, 1965. Изд. „Наука“ (статья Б. Бескова и Ю. Матросы).