

Кобозев Владимир Юрьевич,
старший преподаватель, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: v-kobozeff@ya.ru

Истомин Андрей Леонидович,
д.т.н., профессор, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: a.l.istomin@mail.ru

Кривов Максим Викторович,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: Vmk@angtu.ru

Колмогоров Алексей Геннадьевич,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: atp@angtu.ru

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАГРЕВОМ ПАРОМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕАКТОРА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛА

Kobozev V.Y., Istomin A.L., Krivov M.V., Kolmogorov A.G.

OPTIMAL CONTROL OF THE HEATING OF THE PERIODIC STYRENE POLYMERIZATION REACTOR

Аннотация. На основе принципа максимума Понтрягина поставлена и решена задача о быстродействии нагрева греющим паром сырья в периодическом реакторе полимеризации стирола.

Ключевые слова: оптимальное управление, задача о быстродействии, нагрев паром, полимеризация стирола.

Abstract. Based on the Pontryagin maximum principle, the problem of the speed of heating of a batch reactor used in the process polymerization of styrene is posed and solved.

Keywords: optimal control, speed problem, steam heating, styrene polymerization.

Технологический процесс суспензионной полимеризации стирола проводится в реакторе с мешалкой, снабженном рубашкой для греющего пара и охлаждающей воды. Поскольку от продолжительности нагрева зависит продолжительность всего технологического цикла производства, поставлена и решена задача о быстродействии нагрева сырья до заданной температуры.

Уравнения изменения температур конденсата в рубашке T_k , стенки рубашки T_s и исходного сырья в реакторе T_r в случае нагрева принимают вид:

$$\begin{cases} \frac{dT_k}{dt} = \frac{v_p I}{V_p \rho_k c_{pk}} - \frac{v_k T_k}{V_p} + \frac{k_{ks} F}{V_p \rho_k c_{pk}} (T_s - T_k), \\ \frac{dT_s}{dt} = \frac{k_{ks} F}{V_s \rho_s c_{ps}} (T_k - T_s) + \frac{k_{sr} F}{V_s \rho_s c_{ps}} (T_r - T_s), \\ \frac{dT_r}{dt} = \frac{k_{sr} F}{V_r \rho_r c_{pr}} (T_s - T_r), \end{cases} \quad (1)$$

где v_p и v_k – объемные расходы пара и конденсата соответственно, м³/с; I – энтальпия пара, кДж/кг; k_{ks} и k_{sr} – коэффициенты теплоотдачи от конденсата к стенке и от стенки к реакционной смеси, кДж/(м²·°С·с); F – поверхность тепло-

обмена, m^2 ; V_p , V_s и V_r – объемы паровой рубашки, стенки и содержимого в реакторе соответственно, m^3 ; ρ_k , ρ_s и ρ_r – плотности конденсата, стенки и содержимого в реакторе соответственно, kg/m^3 ; c_{pk} , c_{ps} и c_{pr} – удельные теплоемкости конденсата, стенки и реакционной смеси соответственно, $kJ/(kg \cdot ^\circ C)$. Следует отметить, что на разных стадиях нагрева объем содержимого в реакторе V_r и поверхность теплообмена F отличаются.

Заданы начальные условия для всех трех переменных в начале нагрева при $t=0$ и граничное условие – заданная температура в реакторе в момент времени $t=T$

$$T_k(0) = T_k^0, T_s(0) = T_s^0, T_r(0) = T_r^0, T_r(T) = T_r^T. \quad (2)$$

Функционал качества управления нагревом задан в виде

$$J = \int_0^T 1 dt = T \rightarrow \min. \quad (3)$$

Ищется расход греющего пара в рубашку реактора $v_p^*(t)$, который обеспечивает нагрев сырья в реакторе до заданной температуры за кратчайшее время.

Показано решение задачи о быстродействии нагрева сырья до температуры разложения низкотемпературного инициатора на стадии предварительной полимеризации стирола [1]. Результаты решения задачи оптимального нагрева приведены на рис. 1.

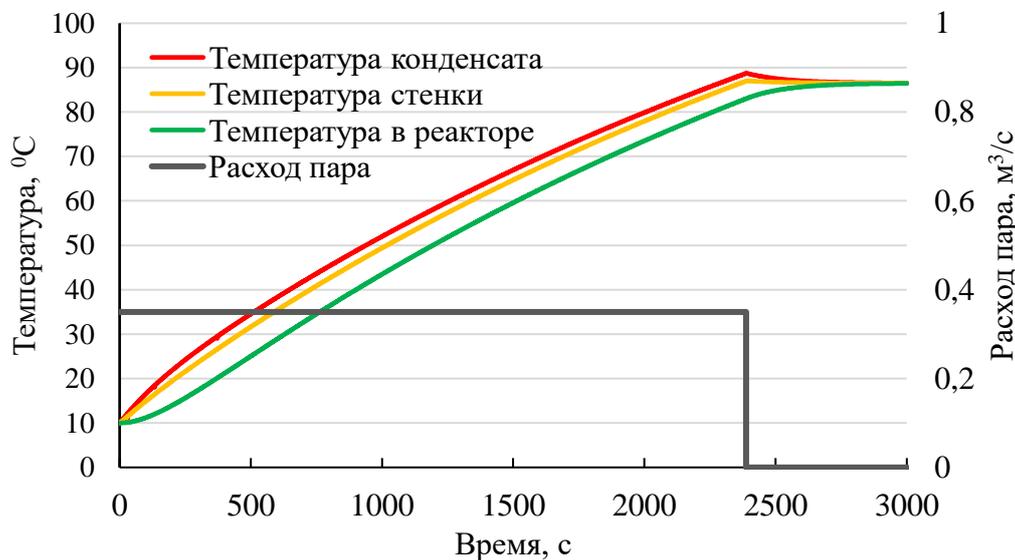


Рисунок 1 – Графики температур и оптимальный расход пара

ЛИТЕРАТУРА

1. Истомин А.Л., Кобозев В.Ю., Кривов М.В., Колмогоров А.Г. Исследование задачи оптимального нагрева жидкого продукта жидким теплоносителем в емкости с рубашкой // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2025. № 1. С. 7-15.