

Рисунок 3 – Переходные процессы при ленте с двумя мешками и при силе натяжения: а) $T=700$ кгс, б) $T=500$ кгс

Следует отметить отличия в переходных процессах при пустой ленте и её последующем нагружении. Ввиду низкого натяжения ленты наблюдались длительные переходные процессы и интерференции колебаний от сложного взаимодействия груза, ленты и ударного механизма. Это и объясняет отсутствие линейной зависимости частоты на всем диапазоне нагрузок. Частота (период) определялась по временному интервалу между максимумом и последующим минимумом.

Исходя из всего этого можно сделать вывод, что измерение расхода сыпучих материалов на конвейерной ленте с помощью ее колебаний возможно. Также можно отметить, что использование локальной параболической аппроксимации позволяет существенно улучшить сглаживание. Разработанная методика подтвердила свои положительные стороны и позволила решать вопросы, которые были поставлены перед экспериментальной установкой.

УДК 536.27:519.868

Студ. С. О. Панков, Д. А. Солощенко

Науч. рук. доц. Ю. П. Барметов

(кафедра информационных и управляющих систем, ВГУИТ)

**АДАПТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ТЕПЛООБМЕННИКА ТИПА «РЕАКТОР ИДЕАЛЬНОГО
ВЫТЕСНЕНИЯ В РЕАКТОРЕ ИДЕАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ»
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ**

Процессы нагрева и охлаждения различных сред в теплообменниках типа «реактор идеального вытеснения в реакторе идеального смешения» широко используются в различных областях. К таким объектам относятся кожухотрубные и змеевиковые теплообменники, котельные установки, конвейерные печи и т. п.

Особенностью математического описания этих объектов является наличие частных производных по координатам реактора идеального вытеснения. Так дифференциальные уравнения для температур сред в трубчатом реакторе идеального вытеснения и реакторе идеального смешения при допущениях, что среды в обеих полостях теплообменника невязкие и несжимаемые; стенки трубы и корпуса теплообменника тонкие, их массы малы по сравнению с массами сред в полостях; потери тепла от корпуса теплообменника в окружающую среду отсутствуют; перемешивание в поперечном сечении трубы идеальное, в продольном – идеальное вытеснение; коэффициенты теплоотдачи от сред к стенке трубы постоянны и не зависят от температуры, имеют вид [1]:

$$G_1 c_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + \pi r^2 c_1 \rho_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} = \pi r \alpha_{1,c} [\theta_{2,k}(\tau) - \theta_1(\tau, x)], \quad (1)$$

$$M_2 c_2 \frac{d\theta_{2,k}}{d\tau} + (G_2 c_2 + \pi r L \alpha_{2,c}) \theta_{2,k}(\tau) = \pi r \alpha_{2,c} \int_0^L \theta_1(\tau, x) dx + G_2 c_2 \theta_{2,n}(\tau), \quad (2)$$

температура стенки трубы

$$\theta_c(\tau, x) = [\theta_{2,k}(\tau) + \theta_1(\tau, x)] / 2,$$

где G , c , ρ , θ – расход, удельная теплоемкость, плотность и температура среды, причем, индекс 1 соответствует параметрам среды в трубе, индекс 2 – в реакторе смешения; $\theta_{2,n}$, $\theta_{2,k}$ – температуры среды на входе в реактор идеального смешения и выходе; r – радиус трубы; $\alpha_{1,c}$, $\alpha_{2,c}$ – коэффициенты теплоотдачи от сред к стенке трубы; τ – время; x – продольная координата реактора идеального вытеснения; M_2 – масса среды в реакторе идеального смешения; L – длина трубы.

Проблема использования этих уравнений для синтеза систем управления заключается в большом объеме вычислений при реализации программы численного расчета переходных процессов и нелинейность уравнений вследствие наличия произведений внешних воздействий (расходов) и переменных координат объекта (температур).

Для преодоления второй проблемы в работе [1] проведена линеаризация уравнений и разделение их на уравнения статики и динамики.

В установившемся режиме при постоянных расходах сред и постоянных их температурах на входе теплообменника система уравнений (1), (2) после преобразования принимает вид:

$$\frac{d\theta_1}{dx} + \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_1 c_1} \theta_1(x) = \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_1 c_1} \theta_{2,k}, \quad (3)$$

$$(G_2 c_2 + \pi r L \alpha_{2,c}) \theta_{2,k} = \pi r \alpha_{2,c} \int_0^L \theta_1(x) dx + G_2 c_2 \theta_{2,n}. \quad (4)$$

Решение системы (3), (4):

$$\theta_1(x) = c_1 \cdot \exp(-Ax) + c_2, \quad (5)$$

$$\theta_{2,k} = \frac{B \cdot c_1}{A} [1 - \exp(-AL)] + B \cdot L \cdot c_2 + D \cdot \theta_{2,H}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_1 c_1}, \quad B = \frac{\pi r \alpha_{2,c}}{(G_2 c_2 + \pi r L \alpha_{2,c})}, \quad D = \frac{G_2 c_2}{(G_2 c_2 + \pi r L \alpha_{2,c})}.$$

Линеаризованные уравнения динамики, полученные из уравнений (1), (2) путем разложения их составляющих в ряд Тейлора в окрестности установившихся значений, удаления постоянных слагаемых и слагаемых с производными выше второго порядка, будут иметь вид:

$$G_{1,0} c_1 \frac{\partial \Delta \theta_1(\tau, x)}{\partial x} + \pi r^2 c_1 \rho_1 \frac{\partial \Delta \theta_1(\tau, x)}{\partial \tau} = \pi r \alpha_{1,c} [\Delta \theta_{2,k}(\tau) - \Delta \theta_1(\tau, x)] - \Delta G_1(\tau) c_1 \left. \frac{\partial \theta_1(\tau, x)}{\partial x} \right|_{\tau=0}, \quad (7)$$

$$M_2 c_2 \frac{d \Delta \theta_{2,k}}{d \tau} + (G_{2,0} c_2 + \pi r L \alpha_{2,c}) \Delta \theta_{2,k}(\tau) = \pi r \alpha_{2,c} \int_0^L \Delta \theta_1(\tau, x) dx + \Delta G_2(\tau) c_2 (\theta_{2,H0} - \theta_{2,k0}) + G_{2,0} c_2 \Delta \theta_{2,H}(\tau), \quad (8)$$

где $G_{1,0}$, $G_{2,0}$ – значения расходов в начальный момент времени; $\Delta G_1(\tau)$, $\Delta G_2(\tau)$ – отклонения расходов во времени от начальных; $\Delta \theta_1(\tau, x)$, $\Delta \theta_{2,H}(\tau)$, $\Delta \theta_{2,k}(\tau)$ – отклонения температур от начальных; $\left. \frac{\partial \theta_1(\tau, x)}{\partial x} \right|_{\tau=0}$ – профиль производной температуры по длине трубы в начальном момент времени;

$\theta_{2,H0}$, $\theta_{2,k0}$ – значения температур среды на входе и выходе реактора идеального смешения в начальный момент времени.

Применяя преобразования Лапласа к уравнениям, упрощая и интегрируя по координате x первое уравнение, полученное из (7), получаем уравнение для реактора идеального вытеснения в преобразованиях Лапласа для переменных $\Delta G_2(s)$ и $\Delta \theta_1(s, x)$:

$$\begin{aligned} & \{ [A_1(s) - B_1(s)L] \cdot A_1(s) + B_1(s) - B_1(s)e^{-A_1(s)L} \} \Theta_1(s, x) = \\ & = D_1(s) \cdot A_1(s) \cdot (1 - e^{-A_1(s)x}) \Delta G_2(s) + \\ & + \{ [A_1(s) - B_1(s)L] \cdot A_1(s) \cdot e^{-A_1(s)x} + B(s) [1 - e^{-A_1(s)L}] \} \Delta \Theta_{1,0}(s), \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$A_1(s) = \pi r \frac{r c_1 \rho_1 s + \alpha_{1,c}}{G_{1,0} c_1} = a_1 s + a_0;$$

$$B_1(s) = \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_{1,0} c_1} \frac{\pi r \alpha_{2,c}}{M_2 c_2 s + G_{2,0} c_2 + \pi r \alpha_{2,c} \cdot L} = \frac{b}{b_1 \cdot s + b_0};$$

$$D_1(s) = \frac{\pi r \alpha_{1,c}}{G_{1,0} c_1} \frac{c_2 (\theta_{2,h} - \theta_{2,k0})}{M_2 c_2 s + G_{2,0} c_2 + \pi r \alpha_{2,c} \cdot L} = \frac{d}{b_1 \cdot s + b_0}.$$

Подставим в уравнение (9) выражения для $A_1(s)$, $B_1(s)$, $D_1(s)$

$$\left[(a_1 s + a_0)^2 (b_1 \cdot s + b_0) - b \cdot (a_1 s + a_0) \cdot L + b - b \cdot e^{-(a_1 s + a_0)L} \right] \Theta_1(s, x) =$$

$$= d \cdot (a_1 s + a_0) \cdot (1 - e^{-(a_1 s + a_0)x}) \Delta G_2(s) +$$

$$+ \left\{ [(a_1 s + a_0)^2 (b_1 \cdot s + b_0) - b \cdot (a_1 s + a_0) \cdot L] \cdot e^{-(a_1 s + a_0)x} + b - b \cdot e^{-(a_1 s + a_0)L} \right\} \cdot \Delta \Theta_{1,0}(s),$$

раскроем скобки, упростим и перейдем во временную область. Получим уравнение динамики с запаздывающим аргументом вида:

$$K_3 \cdot \Theta_1'''(\tau) + K_2 \cdot \Theta_1''(\tau) + K_1 \cdot \Theta_1'(\tau) + K_0 \cdot \Theta_1(\tau) - b \cdot e^{-a_0 \cdot L} \cdot \Theta_1(\tau - a_1 \cdot L) =$$

$$= d \cdot \left[a_1 \cdot \frac{d\Delta G_2(\tau)}{d\tau} + a_0 \cdot \Delta G_2(\tau) \right] -$$

$$- e^{-a_0 \cdot x} \cdot d \cdot \left[a_1 \cdot \frac{d\Delta G_2(\tau - a_1 \cdot x)}{d\tau} - a_0 \cdot \Delta G_2(\tau - a_1 \cdot x) \right] \dots,$$

где K_i – коэффициенты уравнения, выражаемые через параметры теплообменника.

Для проверки описанной выше математической модели в уравнениях статики и динамики был выбран U-образный кожухотрубный теплообменник [2] с характеристиками: длина внутренней части кожуха 3 м; радиус кожуха – 0,75 м, количество трубок – 65шт; радиус трубок - 4 мм.

В качестве продукта выступает молоко с начальной температурой 20 °С, а в качестве теплоносителя вода с начальной температурой 70 °С. Расход продукта 4 кг/с, расход теплоносителя 11 кг/с.

Решив уравнения статики (5), (6) получили температуру молока на выходе теплообменника 40,5 оС, а теплоносителя 54,4 оС. Решая уравнение динамики по конечно-разностной схеме, получили следующие графики изменения температуры молока на выходе по времени (рисунки 1, 2).

Проведя анализ результатов, и проверив их на предмет соответствия физическим представлениям о процессах, протекающих в кожухотрубном теплообменнике, делаем вывод, что математическая модель работает корректно, решение занимает очень мало времени и в дальнейшем данную модель можно использовать для синтеза автоматической системы управления работой теплообменников типа «реактор идеального вытеснения в реакторе идеального смешения».

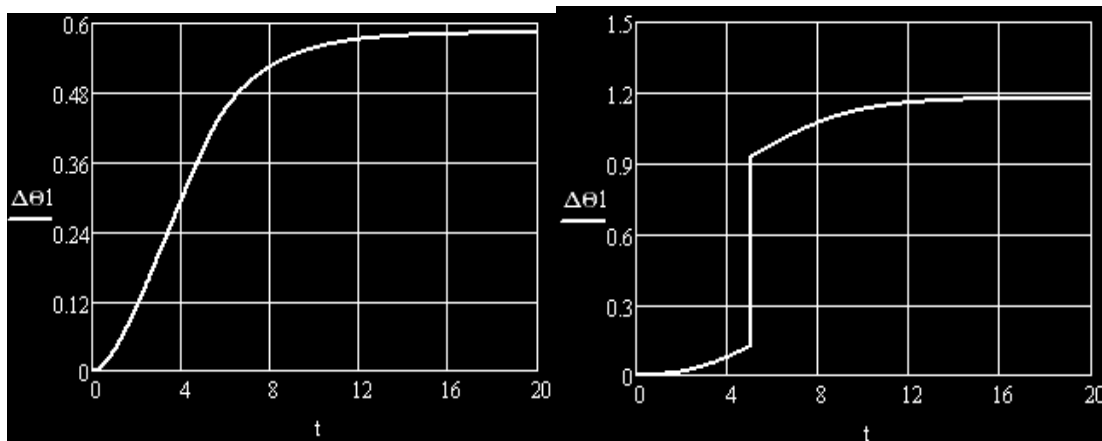


Рисунок 1 – Изменение температуры молока на выходе теплообменника при изменении расхода теплоносителя на 1 кг/с

Рисунок 2 – Изменение температуры молока на выходе теплообменника при изменении начальной температуры на 2 °С

ЛИТЕРАТУРА

1. Барметов Ю.П. Линеаризованная модель теплообменника «реактор идеального вытеснения в реакторе идеального смешения» [Текст] : / Сборник статей V международной научно-практической интернет- конференции «Моделирование энергоинформационных процессов» - Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. С.12-16.

2. Остриков, А. Н Расчет и проектирование теплообменников [Текст] : учебник / А. Н. Остриков, А. В. Логинов, А. С. Попов, И. Н. Болгова ; М-во образования и науки Российской Федерации, ГОУВПО "Воронежская государственная технологическая академия". - Воронеж : ВГТА, 2011. - 427 с.

УДК 681.5

Студ. С.Н. Клындюк, В.Ч. Лакуцевич
Науч. рук., доц. В.В. Сарока

(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВОДОПОДГОТОВКОЙ

Цель процесса – обеззараживать сточной воды, до уровня бактерий соответствующего СанПиН 2.1.5/980-00.

В ходе работы любых предприятий обязательно образуются сточные воды, загрязненные взвешьями, нефтепродуктами и поверхност-