

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 5172:544.03

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТЕНТОВОГО МАТЕРИАЛА

А.А. Третьяков, Б.В. Филатов, Р.В. Воронков

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р физ.-мат. наук, профессор С.М. Дзюба

Ключевые слова и фразы: агрегат хлорвиниловых покрытий; имитационные исследования; математическая модель; тентовый материал.

Аннотация: Разработана математическая модель процесса сушки тентового материала. Проведены имитационные исследования процесса с целью выявления характерных особенностей и выявления управляющих и возмущающих воздействий.

Тентовый материал применяется во многих отраслях промышленности: легкой (производство легких летних павильонов, шатров); пищевой; автомобильной (производство всех видов тентов для автотранспорта) и т.д.

Данный материал получается путем нанесения на полиэфирную тканевую основу одностороннего или двухстороннего поливинилхлоридного покрытия с последующей сушкой в конвективной сушилке при протокте материала и сушильного агента.

В современных экономических условиях на предприятиях, производящих подобную продукцию, остро стоит вопрос снижения себестоимости выпускаемой продукции при обеспечении заданных качественных показателей и объема. Эту задачу невозможно решить без глубоких исследований на основе математического моделирования.

Себестоимость продукции всегда существенно зависит от технологии выполнения наиболее сложных, длительных и трудоемких процессов. Таким процессом при производстве тентового материала является сушка в агрегате хлорвиниловых покрытий (АХП).

Третьяков Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные процессы и управление», e-mail: sasha@mail.ahp.tstu.ru, tsasha74@mail.ru; Филатов Борис Владимирович – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление», e-mail: snowforce@bk.ru; Воронков Роман Вячеславович – студент, e-mail: voronkovroman@yandex.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

Изменение толщины тентового материала в процессе сушки приводит к тому, что одна часть материала оказывается слишком влажной, а другая – слишком пересушенной. Поэтому одной из задач является обеспечение заданной влажности материала при изменении его толщины.

Для выявления характерных особенностей процесса сушки тентового материала и выявления управляющих и возмущающих воздействий была разработана математическая модель данного процесса [1].

При разработке модели были сделаны следующие допущения [2, 3]:

1) вследствие малой толщины высушиваемого материала (750 мкм) и его значительной длины (10 м) и ширины (1,4 м) будем считать его бесконечной пластиной;

2) высушиваемый материал обладает однородной пористой структурой и однородным начальным распределением влаги;

3) испарение влаги происходит на границе влажного и высушенного материалов;

4) при описании полей температур и влажности будем рассматривать процесс как квазистационарный;

5) теплота для испарения влаги подводится вглубь частицы за счет теплопроводности через слой высушенного материала;

6) для газовой фазы осуществляется режим промежуточного смешения.

Чаще всего при расчете конвективных сушилок движущую силу процесса выражают как разность температур воздуха и поверхности материала, используя значение эффективного коэффициента теплоотдачи от воздуха к материалу, определенное по опытным данным [4].

Тепловой баланс процесса конвективной сушки записывается в виде соотношений

$$c_B G_B \frac{dt_B}{dl} - \alpha F_M (t_B - t_n) = \chi r G_c \frac{dD}{dl}, \quad (1)$$

где G_B – расход воздуха, кг/с; c_B – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C); dt_B/dl – скорость изменения температуры воздуха по длине сушилки, °C/м; α – эффективный коэффициент теплоотдачи, Дж/(м²·с·°C); F_M – поверхность теплоотдачи материала на единице длины сушилки, м; t_B – температура воздуха, °C; t_n – температура поверхности материала, °C; G_c – расход абсолютно сухого материала, кг/с; r – теплота испарения чистой жидкости, Дж/кг; D – влагосодержание материала, кг/кг; l – координата по длине сушилки, м, $l = \overline{0, L}$, L – длина сушилки в АХП, м; $\chi = H_{исп}/r$ – коэффициент, учитывающий увеличение расхода теплоты на испарение влаги из высушиваемого материала по сравнению с чистой жидкостью.

Для первого периода сушки $\chi = 1$ и t_n – величина постоянная, тогда из (1) следует:

$$\frac{d(t_B - t_n)}{t_B - t_n} = -\frac{\alpha F_M}{c_B G_B} dl; \quad dD = \frac{c_B G_B}{r G_c} d(t_B - t_n). \quad (2)$$

Интегрирование уравнений (2) дает:

$$t_B = t_{\Pi} + (t_B - t_{\Pi})_H e^{-al};$$

$$D_H - D = b[(t_B - t_{\Pi})_H - (t_B - t_{\Pi})] = b(t_B - t_{\Pi})_H [1 - e^{-al}],$$

где D_H – влагосодержание материала в начале первой зоны сушки, кг/кг; $(t_B - t_{\Pi})_H$ – разность температуры воздуха и температуры поверхности ма-

териала в начале первой зоны сушки, °C; $a = \frac{\alpha F_M}{c_B L}$; $b = \frac{c_B L}{r G_C}$.

Длина участка, на котором завершается первый период сушки, l_1 определяется из выражения

$$D_H - D_{кр} = b(t_B - t_{\Pi})_H [1 - e^{-al_1}],$$

где $D_{кр}$ – критическое влагосодержание материала, кг/кг.

Во втором периоде сушки температура поверхности материала постепенно возрастает. Она определяется из уравнения кинетики сушки

$$-\frac{dD}{d\tau} = \frac{\alpha F_M (t_B - t_{\Pi})}{H_{исп} g_l} \left(\frac{D}{D_{кр}} \right)^n,$$

где g_l – масса абсолютно сухого материала на единицу длины сушилки, кг/м; $H_{исп}$ – теплота испарения влаги из высушиваемого материала, Дж/кг; n – константа, определяемая по опытным данным.

Если материал движется в сушилке со скоростью ω_M , то $d\tau = dl / \omega_M$ и

$$\frac{dD}{dl} = \frac{1}{\omega_M} \frac{dD}{d\tau} = -\frac{\alpha F_M (t_B - t_{\Pi})}{\omega_M H_{исп} g_l} \left(\frac{D}{D_{кр}} \right)^n, \quad G_C = \omega_M g_l.$$

$$\frac{dD}{dl} = -\frac{\alpha F_M (t_B - t_{\Pi})}{G_C H_{исп}} \left(\frac{D}{D_{кр}} \right)^n. \quad (3)$$

Во втором периоде сушки скорость процесса снижается вследствие уменьшения разности температур $t_B - t_{\Pi}$ и увеличения расхода теплоты на нагрев материала и испарения влаги. Если принять, что два последних фактора учитываются коэффициентом χ , то для второго периода сушки можно использовать уравнение (2). Тогда с учетом (3) получаются уравнения:

$$-\frac{dU}{U^n} = a(t_B - t_{\Pi}) dl; \quad -\frac{d(t_B - t_{\Pi})}{t_B - t_{\Pi}} = \frac{a\chi}{b} U^n dl, \quad (4)$$

где $U = \frac{D}{D_{кр}}$.

Интегрирование второго уравнения при $\chi = \text{const}$ даст:

$$\int_1^U dU = \frac{b}{\chi} \int_{(t_B - t_{\Pi})_{кр}}^{t_B - t_{\Pi}} d(t_B - t_{\Pi}) \quad \text{или} \quad 1 - U = \frac{b}{\chi} [(t_B - t_{\Pi})_{кр} - (t_B - t_{\Pi})],$$

где $(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})_{\text{кр}}$ – разность температуры воздуха и температуры поверхности материала при критическом его влагосодержании, °С.

Подстановка найденного отсюда значения $t_{\text{в}} - t_{\text{п}}$ в первое уравнение (4) приведет к зависимости, выражающей изменение влагосодержания материала по длине сушилки

$$-\frac{dU}{U^n} \frac{1}{(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})_{\text{кр}} - \frac{\chi}{b}(1-U)} = adl. \quad (5)$$

Уравнение энергетического баланса для калорифера АХП в статическом режиме имеет вид

$$t_{\text{в.к}} = t_{\text{в}}^{\text{вх}} + \frac{W}{G_{\text{в}}c_{\text{в}}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{в}}^{\text{вх}}$ – температура воздуха на входе в калорифер, °С; $t_{\text{в.к}}$ – температура воздуха на выходе из калорифера, °С; W – электрическая мощность, подводимая к калориферу, Вт.

Данная температура будет являться температурой воздуха, поступающего в зону сушки АХП – $t_{\text{в}}(L) = t_{\text{в.к}}$.

Значения неизвестных параметров математической модели, определялись в ходе решения задачи идентификации с использованием экспериментальных данных.

С использованием разработанной математической модели были проведены имитационные исследования, построены статические характеристики процесса сушки, представленные на рис. 1–3.

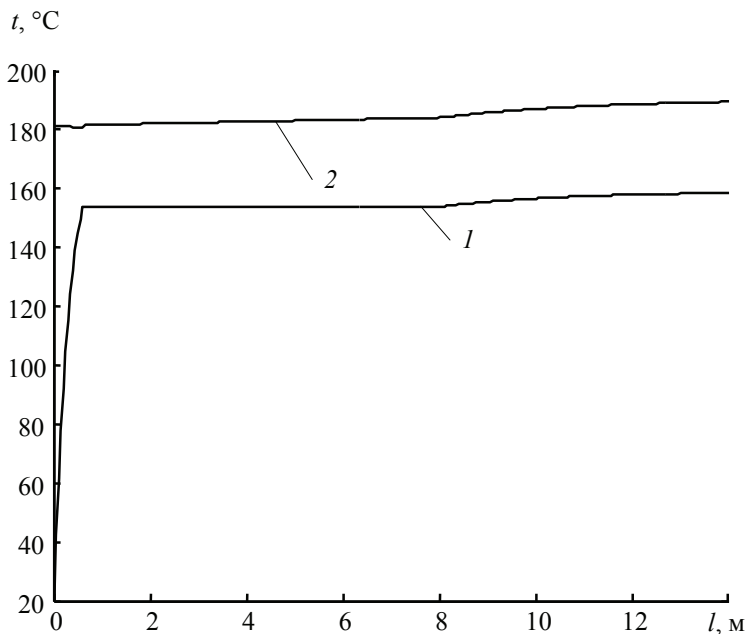


Рис. 1. Зависимость температур по длине сушилки:
1 – температура поверхности материала; 2 – температура воздуха

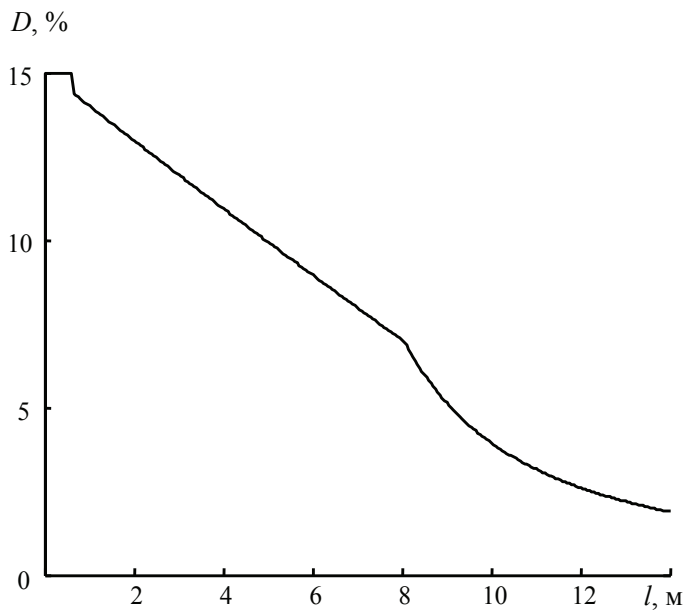


Рис. 2. Влагосодержание материала по длине сушилки

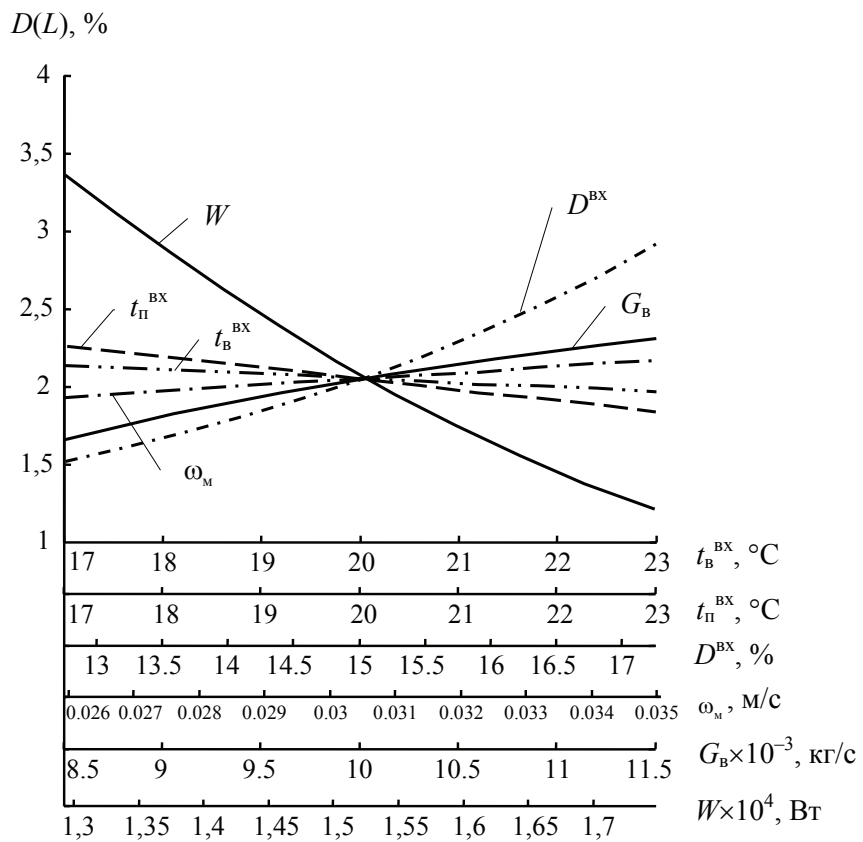


Рис. 3. Статические характеристики объекта управления

Анализируя полученные характеристики, можно сделать выводы.

1. Максимальное влияние на влагосодержание тентового материала оказывает электрическая мощность, подаваемая на ТЭНы, следовательно, данный входной параметр наиболее подходит в качестве управляющего воздействия.

2. Влагосодержание материала на входе в сушилку оказывает наибольшее влияние на влагосодержание материала на выходе из АХП, поэтому данный входной параметр рассматривается как наиболее влияющее на качество возмущающее воздействие.

3. Наименьшее влияние на влагосодержание оказывает температура тентового материала на входе в АХП.

Разработанная математическая модель может быть использована при решении задачи оптимального управления процессом сушки тентового материала.

Список литературы

1. Кафаров, В.В. Принципы математического моделирования химико-технологических систем / В.В. Кафаров, В.А. Перов, В.П. Мешалкин. – М. : Химия, 1974. – 344 с.

2. Леонтьева, А.И. Кинетика, технология и комплексное аппаратурно-технологическое совершенствование заключительных стадий производства полупродуктов органических красителей (выделение, фильтрование, удаление примесей, сушка) : дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.08, 05.17.04 / Леонтьева Альбина Ивановна. – Тамбов, 2005. – 413 с.

3. Коган, В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии : учеб. пособие для хим.-технол. спец. вузов / В.Б. Коган. – Л. : Химия, 1977. – 591с.

4. Фрэнкс, Р. Математическое моделирование в химической технологии / Р. Фрэнкс ; пер. с англ. Д.К. Бейлина, Э.Ф. Ишмаева. – М. : Химия, 1971. – 272 с.

Mathematical Simulation and Investigation of the Process of Tent Material Drying

A.A. Tretyakov, B.V. Filatov, R.V. Voronkov

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: mathematical simulation; simulation research; tent material; vinylchloride coating aggregate.

Abstract: Mathematical simulation of the process of the tent material drying is developed. Simulation studies of the process to identify specific features and reveal control and disturbing effects are carried out.

© А.А. Третьяков, Б.В. Филатов, Р.В. Воронков, 2011