методика может быть использована для оценки эффективности смешивания разнородных волокон.

ВЫВОДЫ

Разработан диэлькометрический метод оценки эффективности смешивания разнородных волокон в многокомпонентных волокнистых продуктах. В качестве показателя отражающих эффективности смешивания выбран коэффициент анизотропии по тангенсу диэлектрических потерь $K_{tg(\delta)}$. Определен рациональный диапазон измерения $K_{tg(\delta)}$ для хлопкольняных лент от 2 до 10кГц. В результате проведенных исследований подтверждено уменьшение коэффициента вариации $K_{tg(\delta)}$ в процессе сложения на ленточной машине. Данный метод является наиболее простым и эффективным при оценке качества смешивания компонентов в волокнистых материалах, содержащих льняные и хлопковые волокна.

Список использованных источников

1. Павлов, Ю. В. Получение пряжи большой линейной плотности : учебное пособие / Ю. В. Павлов. – Иваново : ГОУ ВПО «Ивановская государственная текстильная академия». – 2004. – 144 с.
2. Джежора, А. А. Электроемкостные проходные преобразователи для неразрушающего контроля линейно-протяжных полимерных материалов : автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук / А. А. Джежора. – Минск : Институт прикладной физики АН Беларуси, 1992. – 25 с.

Статья поступила в редакцию 14.05.2010 г.

SUMMARY

Developing of dielectrometrical method for evaluation of mixing effectiveness for cotton/flax yarn manufacturing

Method for evaluation of effectiveness of dissimilar fibers mixing in multi-component assemblers is developed. The tangent of dielectric loss ($K_{tg(\delta)}$) is chosen as index of mixing quality. Rational measuring of frequency range $K_{tg(\delta)}$ for cotton/flax silvers from 2 to 10 kHz. Anisotropy of the tangent dielectric loss of the silvers with a nominal content of 50% linen and 50% cotton is measured. It is obtained that coefficient of variation of $K_{tg(\delta)}$ for sliver from drawframes is much lower than for the card sliver.

УДК 66.047.37

МЕТОД РАСЧЕТА СРЕДНЕИНТЕГРАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЛАЖНОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ

А.И. Ольшанский, В.И. Ольшанский

Процесс сушки отличается большой сложностью и представляет целый комплекс взаимосвязанных и взаимопроникающих явлений тепловлагообмена, протекающих как в материале, так и в объеме пограничного слоя вблизи поверхности материала. Поэтому до настоящего времени крайне ограничена возможность использовать результаты теоретических решений тепломассобмена для реальных условий сушки влажных тел. В таких случаях, как показала практика сушки, используются полуэмпирические или чисто эмпирические методы расчета, на основе которых возникли традиционные способы расчета кинетики тепловлагообмена для периода падающей скорости сушки. Используя метод графического дифференцирования кривой сушки, впервые введенный Т.К. Шервудом, А.В. Лыковым, Г.К. Филоненко, В.В. Красниковым и др. [1, 2, 3], были

Витебский государственный технологический университет

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

созданы приближенные методы расчета, основанные на наиболее общих закономерностях процесса сушки.

Качество высушиваемого материала в процессе сушки зависит от температуры и времени воздействия ее на материал. Основной причиной неравномерной объемной усадки, коробления и трещинообразования является воздействия температуры, особенно в периоде падающей скорости сушки. Важной задачей теории и практики сушки является разработка приближенных методов расчета среднеинтегральной температуры материала с минимальным количеством констант, определяемых экспериментально.

При сушке текстильных нитей для определения среднеобъемной температуры материала использовалась эмпирическая формула, относящаяся к классу дробно-рациональной функции [4]

$$\bar{t}(\tau) = \bar{t}_o + \frac{\tau}{a_o + a_1\tau} \quad , \qquad (1)$$

где $\bar{t}(\tau)$ – среднеинтегральная температура тела на данный момент времени; $\bar{t}_0$ - среднеинтегральная температура в первом периоде сушки; τ- текущее время, соответствующее температуре $\bar{t}(\tau)$; a_0, a_1 - параметры, зависящие от температуры и влагосодержания материала.

Для существования данного вида эмпирической зависимости с двумя параметрами a_0 и a_1 [5] и возможности ее использования для расчета среднеобъемной температуры тела в периоде падающей скорости сушки необходимо, чтобы среднему гармоническому значению $\tau_\zeta = \frac{2\tau_1\tau_n}{\tau_1 + \tau_n}$ соответствовало среднее значение

$$t_\zeta = \frac{2(\bar{t}_1 - \bar{t}_0)(\bar{t}_n - \bar{t}_0)}{(\bar{t}_1 - \bar{t}_0) + (\bar{t}_n - \bar{t}_0)} .$$

Проведем выбор эмпирической формулы (1) с двумя параметрами a_0 и a_1. На рис. 1 представлена опытная кривая $\bar{t} = f(\tau)$ при сушке пористой керамики в условиях вынужденной конвекции. Зависимость $(\bar{t} - \bar{t}_0) = f(\tau)$ для пористой керамики представлена таблицей 1.

Таблица 1 – Зависимость $(\bar{t} - \bar{t}_0) = f(\tau)$ для пористой керамики при режиме сушки t_c =120 °С, ϑ=5 м/с

X	τ, мин	3	5	8	10
Y	$(\bar{t} - \bar{t}_0)^o C$	10	18	32	40

Вычисляем среднегармонические значения τ_ζ и $\bar{t}_\zeta$ для начальной и конечной точек.

Витебский государственный технологический университет

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Поскольку отклонение $\Delta \dot{Y}_{\zeta_1} < 1$ незначительное, то формула (1) достаточно хорошо описывает зависимость $\bar{t} = f(\tau)$ для влажных материалов во втором периоде сушки.

Рассмотрим правило выбора параметров a_0 , a_1 и $\bar{t}_0$ уравнения (1)

Уравнение (1) запишем в виде:

$$\bar{t} - \bar{t}_0 = \frac{\tau}{a_0 + a_1 \tau}. \qquad (2)$$

Среднеобъемная температура влажного тела в конце первого периода сушки $\bar{t}_0$, как показал эксперимент, близка к температуре мокрого термометра $t_м$ и меньше ее на 1-3°С для плоских влажных материалов толщиной $\delta \approx$ 5-12 *мм* при различных режимах сушки.

Температура $t_м$ определяется из уравнения теплообмена для периода постоянной скорости сушки [1]

$$t_м = t_c - \frac{q_1}{\bar{\alpha}_{кр}} = t_c - \frac{r\rho_0 R_V N}{\bar{\alpha}_{кр}}, \qquad (3)$$

где r – теплота парообразования; ρ_0 - плотность сухого тела; N –скорость сушки в первом периоде; R_v – отношение объема тела к поверхности; $q_1 = r\rho_0 R_V N$ – плотность теплового потока в первом периоде, Вт/м^2 .

Коэффициенты теплообмена α для первого периода вычислялись по критериальному уравнению (4) при условии $u_{кр} < u \leq u_0$, для второго периода при $u_p < u \leq u_{кр}$ [6].

$$Nu = C \cdot \mathrm{Re}^{p_0} \left(\frac{T_c}{T_м} \right)^{m_0} \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^{n}. \qquad (4)$$

где \ Nu – критерий Нуссельта; C, p_0, m_0, n – постоянные, определяемые экспериментально; Re – число Рейнольдса; $\bar{u}$, $\bar{u}_{кр}$ – текущее и критическое влагосодержание материала; T_c, T – абсолютные температуры среды и мокрого термометра; $\bar{\alpha}$, $\bar{\alpha}_{кр}$ – коэффициенты теплообмена в первом и втором периодах.

В таблице 2 даны значения параметров в уравнении (4).

Таблица 2 – Значения параметров C и n в уравнении (4)

Материал	C	n
Пористая керамика	0,75	0,5
Подошвенная кожа	0,8	0,25
Листовой асбест	0,75	0,5
Глина	0,45	0,9

Витебский государственный технологический университет

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Показатель степени m_0 при конвективной сушке не зависит от рода высушиваемого материала и равен $m_0 = 2$, а показатель степени у числа Рейнольдса $p_0 = 0{,}5$.

При обработке опытных данных по уравнению (4) за определяющую температуру принималась температура среды t_c , за определяющий размер – длина поверхности влажного тела вдоль набегания потока воздуха.

Обработка экспериментов по сушке ряда влажных материалов, приведенных в таблице 2, показала линейную зависимость средней температуры $\bar{t}_0$ влажного материала в первом периоде от температуры t_c

$$\bar{t}_0 = 10 + 0{,}28 \cdot t_c. \tag{5}$$

Зависимость $\bar{t}_0 = f(t_c)$ для разных материалов показана на рис.2.

Параметр a_1 уравнения (1) находится простым уравнением [4]

$$a_1 = \frac{1}{t_c - \bar{t}_0}. \tag{6}$$

Параметр a_0 уравнения (1) по физическому смыслу выражается соотношением, которое вытекает из графического дифференцирования температурной кривой (рис.1) [4]

$$a_0 = \frac{1}{tg\varphi}, \text{ где } tg\varphi = \left(\frac{d\bar{t}}{d\tau}\right)_{\tau \to 0}.$$

Тогда можно записать

$$a_0 = \frac{1}{tg\varphi} = \frac{1}{\frac{\bar{t}_1 - \bar{t}_0}{\tau_1}} = \frac{\tau_1}{t_1 - t_0}, \text{ где } \left(\frac{d\bar{t}}{d\tau}\right)_{\tau \to 0} = \frac{1}{\frac{\tau_1}{\bar{t}_1 - t_0}}. \tag{7}$$

Здесь значения τ_1 и $\bar{t}_1$ фиксируются при графическом дифференцировании температурной кривой $\bar{t} = f(\tau)$, при $\tau - 0$ (точка 1, рис.1).

Графическое дифференцирование, как и всякий графоаналитический метод имеет погрешности, которые только увеличиваются при $\tau - 0$.

Поэтому провести точно касательную к точке 1 кривой $\bar{t} = f(\tau)$, при условии $\tau - 0$ (рис.1), практически невозможно, и значение $\bar{t}_1$ параметра a_0 является неопределенным.

Параметр a_0 с достаточной точностью определяется совместной обработкой кривых $\bar{u} = f(\tau)$ и температурных кривых $\bar{t} = f(\tau)$ для периода падающей скорости сушки.

На рис.3 представлены зависимости $\lg a_0 = f(\bar{u})$ и $a_0 = f(\tau)$ для пористой керамики при различных режимах сушки.

Обработка и анализ опытных данных по конвективной сушке для материалов, указанных в таблице 2, дали общие уравнения для вычисления параметра a_0 в формуле (1)

$$a_0 = 0{,}08 \cdot \exp(10(\bar{u} - u_p)); \tag{8}$$

Витебским государственный технологический университет

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$a_0 = 0{,}25 - 0{,}015\tau, \qquad (9)$$

где; [redacted]; τ – время сушки во втором периоде, отсчитываемое от нуля.

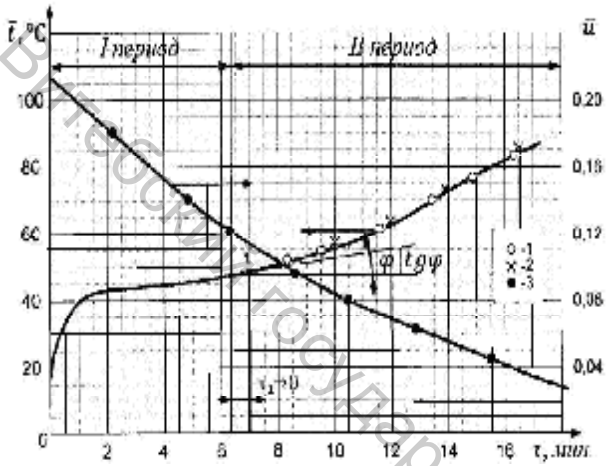


Рисунок 1 – Кривая сушки и температурная кривая при конвективной сушке пористой керамики при режиме $t_c = 120^0 C$, $\vartheta = 5$ м/с, $\varphi = 5\%$: 1 – эксперимент; 2 – по формуле (1); 3 – кривая сушки

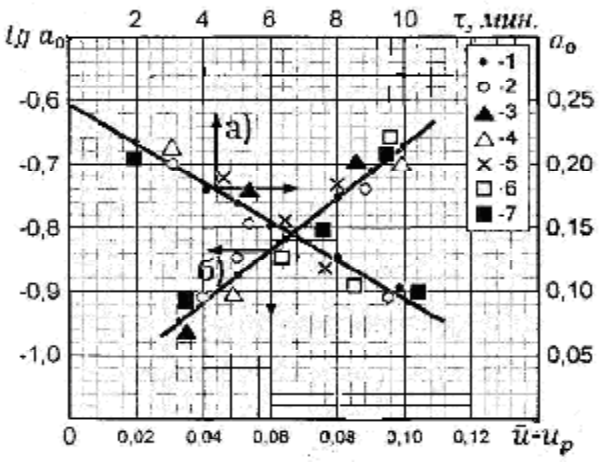


Рисунок 3 – Зависимости параметра $\lg a_0$ в уравнении (1) от влагосодержания $\bar{u}$ и параметра a_0 от времени τ для пористой керамики при различных режимах сушки (обозначения даны на рис. 2)

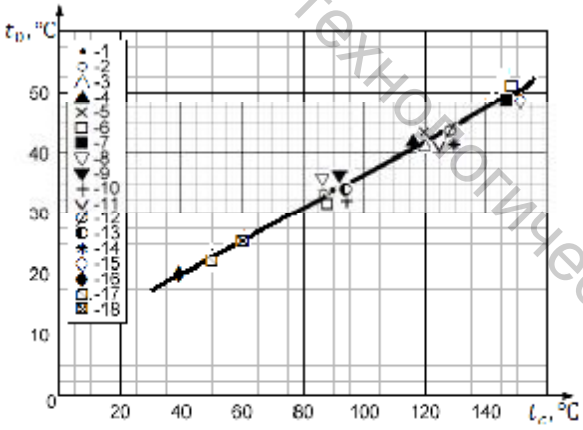


Рисунок 2 – Зависимость среднеобъемной температуры влажного материала в первом периоде $\bar{t}_0$ от температуры среды для различных влажных материалов при режимах сушки: I. Пористая керамика: 1- t_c=90°С, ϑ=3м/с; 2- ϑ=5м/с; 3- t_c=120°С, ϑ=3м/с; 4- ϑ=5м/с; 5- ϑ=10м/с; 6- t_c=150°С, ϑ=3м/с; 7- ϑ=5м/с. δ=5мм. II. Глина: 8- t_c=90°С, ϑ=5м/с; 9- ϑ=3м/с; 10- ϑ=10м/с; 11- t_c=120°С, ϑ=3м/с; 12- ϑ=5м/с. δ=12мм. III. Асбест листовой: 13- t_c=90°С, ϑ=5м/с; 14- t_c=120°С, ϑ=5м/с; 15- t_c=150°С, ϑ=3м/с. δ=6мм. IV. Подошвенная кожа: 16- t_c=40°С, ϑ=3м/с; 17- t_c=50°С, ϑ=5м/с; 18- t_c=60°С, ϑ=3м/с. δ=3мм

Витебский государственный технологический университет

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Результаты сравнительных расчетов среднеинтегральной температуры по уравнению (1) с экспериментом даны на рис.1. Видны достаточно надежные совпадения результатов расчета с экспериментом.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в расчетах по кинетике сушки влажных материалов при определении среднеинтегральной температуры материала в периоде убывающей скорости сушки наряду с экспоненциальными зависимостями вида $\bar{t} = f(\exp(mu))$ можно использовать эмпирические уравнения вида (1). Результаты сравнительных расчетов среднеобъемной температуры $\bar{t}$ по уравнению (1) достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными.

При этом общие зависимости (5), (6) и (8), полученные в результате обработки и анализа экспериментальных данных по конвективной сушке влажных материалов для периода убывающей скорости сушки, позволяют определять среднеинтегральную температуру материала в данный момент времени по известной температуре среды и заданному влагосодержанию, тогда как зависимости вида $\bar{t} = f(\exp(m\bar{u}))$ требуют дополнительно знать из эксперимента первое критическое влагосодержание $\bar{u}_{кр}$ материала и скорость сушки в первом периоде *N*.

Список использованных источников

1. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1973. – 350 с.
2. Филоненко, Г. К. Сушильные установки / Г. К. Филоненко. – М.: Госэнергоиздат, 1952. – 421 с.
3. Красников, В. В. Кондуктивная сушка / В. В. Красников. – М.: Энергия, 1973. – 384 с.
4. Кузнецов, А. А. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей / А. А. Кузнецов, В. И. Ольшанский. – Витебск : ВГТУ, 2004. –- 286 с.
5. Демидович, Б. П. Численные методы анализа / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. – 421 с.
6. Лыков, А. В. Кинетика теплообмена в процессе сушки влажных материалов / А. В. Лыков, П. С. Куц, А. И. Ольшанский. – Минск : Инженерно-физический журнал. Т.23. – № 3. – 1973. – С.401-406.

Статья поступила в редакцию 03.02.2010 г.

SUMMARY

The new method for calculation of average integral material temperature for the period of falling drying rate is considered. The selection of empiric formula concerning the group of fractional-rational function was carried out. It is proved experimentally that the empiric equations relevant to the group of fractional-rational function can be used equally to exponential dependencies in the calculations for drying kinetics for estimation of average integral temperature.

Витебский государственный технологический университет

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com