

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ СУШКИ ТКАНЕЙ

А.И. Ольшанский, В.И. Ольшанский, С.В. Жерносек

ВВЕДЕНИЕ

Нагрев влажных материалов в переменном электрическом поле основан на явлении поляризации в диэлектриках. При нагреве диэлектрических материалов в поле сверхвысокой частоты происходит преобразование энергии электромагнитного поля в тепловую за счет диэлектрических потерь, которые зависят от электрофизических свойств, влагосодержания и строения материала. Отличительной особенностью нагрева влажных диэлектриков является равномерное выделение тепла во всем объеме тела, высокая интенсивность нагрева и испарения влаги с поверхности, регулируемость зависимости диэлектрических потерь от длины волны [1, 2, 3].

По своим электрофизическим свойствам ткани относятся к диэлектрикам, которые в зависимости от строения волокон, пористости и воздухопроницаемости делятся на полярные и неполярные [1, 2]. Неполярные материалы характеризуются низкими значениями диэлектрических потерь и слабо нагреваются в поле сверхвысокой частоты. Диэлектрические свойства тканей и текстильных материалов в существенной степени зависят от природы волокнообразующей структуры, пористости, поверхностной плотности, воздухопроницаемости [1, 2, 3]. Для полиамидных и полиакриловых волокон коэффициент диэлектрических потерь на порядок выше по сравнению с неполярным полиэфирным или триацетатным волокном. Показатель диэлектрических потерь хлопка имеет промежуточное значение [1].

Термопластичные волокна (хлопок, вискоза, лен, шерсть) в условиях диэлектрического нагрева прогреваются слабее, чем полярные волокна. Но поскольку текстильные материалы после процесса увлажнения содержат в значительном количестве влагу (80 – 120 %), а также различные красители и аппретирующие вещества, то достигается многократное повышение интенсивности диэлектрического нагрева влажных тканей. Такая система «волокно–вода» рассматривается как полярный диэлектрик, электрофизические характеристики которого близки к воде, а теплофизические – к материалу–носителю (ткани) [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В отличие от обычных методов сушки, для которых перенос влаги внутри тела происходит под действием градиентов влагосодержания и температуры, при сушке в поле сверхвысокой частоты на перенос влаги основное влияние оказывает напряженность электрического и магнитного полей. Для применяемых на практике диапазонов частот с периодом колебания электрического поля 10^9 с (частота 1 ГГц) временем ионной и электронной поляризации (10^{13} с) можно пренебречь и считать, что эти процессы происходят мгновенно.

Под действием электрического поля происходит интенсивное выделение тепла и энергия, затраченная на поляризацию влажного тела, генерируется в виде тепла [1, 2, 3].

Количество выделяемого тепла в единице объема материала ($\text{Вт} / \text{м}^3$) определяется по формуле [1, 2, 3]

$$Q_v = 5,55 \cdot \epsilon_m \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \nu \cdot E^2 \cdot 10^{-11}, \quad (1)$$

где E — напряженность внешнего электрического поля, $\text{В} / \text{м}$; ϵ_m — диэлектрическая постоянная нагреваемого материала (для тканей $\epsilon_m = 2$); $\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь; ν — частота электрического поля, Гц.

Диэлектрическая постоянная ϵ_m и $\operatorname{tg}\delta$ составляют основные электрофизические характеристики влажных материалов. Произведение $\epsilon_m \operatorname{tg}\delta$ называется коэффициентом диэлектрических потерь k , который зависит от влагосодержания, частоты, температуры и связи влаги с материалом [1, 2].

Сильно влияет на значение коэффициента потерь $k = \epsilon_m \operatorname{tg}\delta$ волокнистая структура тела, пористость и воздухопроницаемость, что особенно важно при СВЧ-сушке тканей.

Скорость испарения влаги при сушке в поле СВЧ значительно превышает скорость испарения влаги при сушке другими методами энергоподвода. Исследования терморadiационной сушки тканей показали, что скорость испарения влаги ($\text{кг} / \text{м}^2 \text{ч}$) в два раза оказалась ниже, чем при сушке в поле СВЧ, при практически одинаковых мощностях источника излучения и генерации СВЧ [4].

В процессе конвективной сушки температурный градиент препятствует перемещению влаги к поверхности тела (температура на поверхности больше, чем в центре тела), при сверхвысокочастотной сушке термодиффузия направлена от центра к поверхности и влагосодержание имеет обратный характер, влагосодержание на поверхности больше, чем в центре [2].

Испарение влаги, в отличие от конвективной сушки, происходит во всем объеме тела, причем в центре тела больше, чем на поверхности, что вызывает возникновение градиента давления, который сильно влияет на перенос пара внутри тела.

Кинетика процесса сушки токами сверхвысокой частоты в принципе не отличается от других способов сушки. Отличие заключается в очень быстром прогреве материала до температур, близких к $t \approx 100^\circ \text{C}$.

Интенсивность переноса влаги внутри тела при сверхвысокочастотном нагреве характеризуется величиной критерия Померанцева [2]:

$$Po = \frac{Q_v R_v^2}{\lambda_{вл} T_m}, \quad (2)$$

где R_v — характерный размер тела, м; $\lambda_{вл}$ — теплопроводность влажного тела, Вт / м $^\circ \text{C}$; T_m — абсолютная температура влажного тела, К.

Основное уравнение кинетики сушки СВЧ имеет вид [2]:

$$q = r \frac{d\bar{u}}{d\tau} R_v \rho_0 (1 + K_c Rb_0) = Q_v R_v + q_k(\tau), \quad (3)$$

где r — теплота парообразования, Дж / кг; $\frac{d\bar{u}}{d\tau}$ — скорость сушки, с^{-1} ; $\bar{u}$ — среднее интегральное влагосодержание, %; τ — время сушки, с; ρ_0 — плотность сухого тела, $\text{кг} / \text{м}^3$; K_c — критерий, учитывающий изменение теплоемкости влажного тела [2]:

$$K_c = \frac{c_0 + c_s}{c_0}, \quad (4)$$

где c_0 , c_s — теплоемкости сухого тела и воды [5], Дж / кг $^\circ \text{C}$.

Критерий Ребиндера Rb_0 выбирается по отношению к сухому телу:

$$Rb_0 = \frac{c_0 b}{r}, \quad (5)$$

где $b = \frac{d\bar{t}}{d\bar{u}}$ — температурный коэффициент сушки, °C.

Мощность конвективного источника тепла определяется по уравнению теплообмена

$$q_k(\tau) = \bar{\alpha} F_m (t_m - t_k), \text{ Вт}, \quad (6)$$

где $\bar{\alpha}$ — коэффициент конвективного теплообмена, Вт/м² °C; F_m — поверхность испарения влажного материала, м²; t_m и t_k — температуры материала и среды в камере, °C.

В периоде постоянной скорости сушки коэффициент $b = \frac{d\bar{t}}{d\bar{u}} = 0$ и критерий Ребиндера $Rb_0 = 0$.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Ткани относятся к тонким волокнистым материалам с высокой пористостью и воздухопроницаемостью. Кинетика сушки тканей в поле сверхвысокой частоты принципиально не отличается от кинетики сушки другими способами подвода тепла к материалу. Исследование процесса сушки проводилось при трех значениях мощности генератора СВЧ: $N_r = 300 \text{ Вт}$, $N_r = 600 \text{ Вт}$, $N_r = 850 \text{ Вт}$ при частоте 2,45 ГГц. Результаты исследования кинетики сушки тканей в поле СВЧ сопоставлялись с результатами исследования кинетики терморadiационной сушки тканей [4]. В отличие от сушки инфракрасными лучами кривые сушки вискозной и льняной тканей для каждого режима сушки в поле СВЧ практически совпадали. На рисунке 1 а, б изображены кривые сушки (а) и кривые интенсивности испарения влаги (б) при сушке вискозы и льна для трех значений мощности генератора СВЧ.

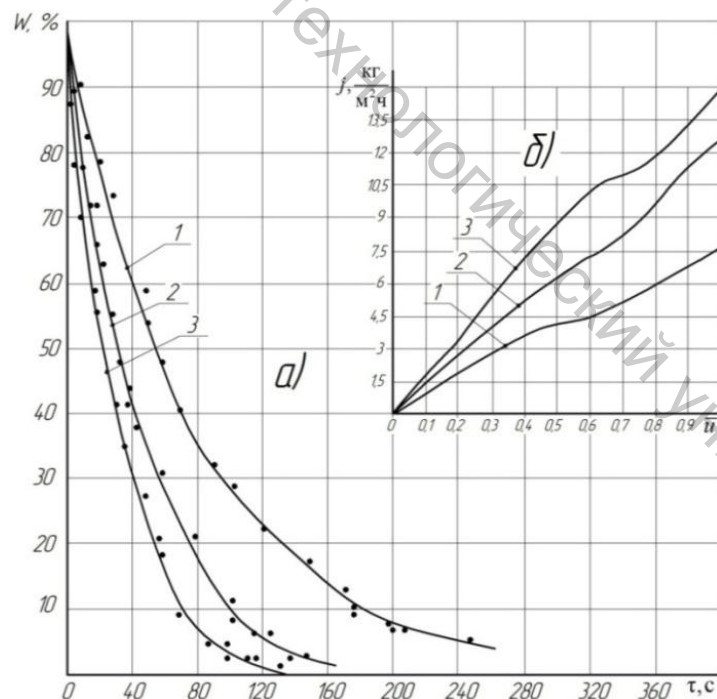


Рисунок 1 — Кривые сушки (а) и кривые интенсивности сушки тканей (б) в поле СВЧ при мощности источника генерации энергии: 1 — $N_r = 300 \text{ Вт}$;

2 — $N_r = 600 \text{ Вт}$; 3 — $N_r = 850 \text{ Вт}$

Совпадение кривых сушки для разных тканей при одинаковых режимах можно объяснить высокой интенсивностью испарения влаги, в два раза выше, чем при терморadiационной, [4] и в три раза выше, чем при конвективной сушке газами [2].

Из рисунка 1 *а, б* видно, что, в отличие от терморadiационной сушки тканей [4], сушка в поле СВЧ происходит в периоде падающей скорости. Периода постоянной скорости сушки не наблюдается ни по влагосодержаниям, ни по температурам. Отличительной особенностью нагрева тканей в поле СВЧ от других способов подвода тепла является быстрый прогрев тканей до температуры 60°C , а затем более замедленное повышение до $t_m = 90 \div 100^{\circ}\text{C}$.

Температура тканей при $N_r = 300 \text{ Вт}$ возрастала до $50 - 52^{\circ}\text{C}$ за $20 - 25 \text{ с}$, а при мощностях $N_r = 600 \text{ Вт}$, $N_r = 850 \text{ Вт}$ достигала $t_m = 60 \div 65^{\circ}\text{C}$ уже через $7 - 10 \text{ с}$.

Время сушки по сравнению с терморadiационной [4] сокращается в два раза, а интенсивность испарения влаги выше в $1,7 - 1,8$ раза.

Зафиксировать момент возникновения градиента давления в тонких тканях невозможно. Релаксация градиента давления в таких тонких волокнистых с высокой пористостью и воздухопроницаемостью материалах происходит мгновенно, и зафиксировать этот момент можно, только применяя высокоскоростную фотосъемку [2].

На рисунке 2 дана зависимость времени сушки τ от мощности генерируемого источника в интервале N_r от 300 Вт до 850 Вт при различных влагосодержаниях W . Зависимость $N_r = f(\tau)$ (рисунок 2) позволяет определять время сушки τ в диапазоне $N_r = 300 \div 850 \text{ Вт}$ при различных влагосодержаниях W .

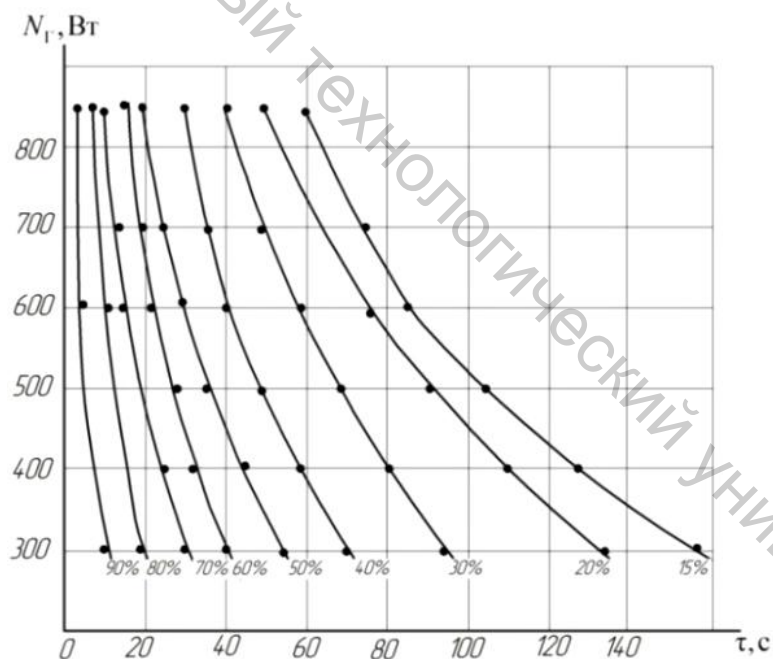


Рисунок 2 — Зависимость времени сушки τ от мощности генератора СВЧ при различных влагосодержаниях в процессе сушки тканей

На рисунке 3 даны результаты обработки экспериментальных данных в виде зависимости $\frac{N_r}{N_{r_0}} = f\left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)$, позволяющей оценить степень сокращения времени сушки при увеличении мощности генератора СВЧ при различных влагосодержаниях W . За начало отчета принимаются мощность генератора СВЧ $N_{r_0} = 300 \text{ Вт}$ и время сушки при

этой мощности до равновесного влагосодержания тканей при относительной влажности воздуха $\phi = 50 \div 70 \%$ и температуре окружающей среды $t_{o.c.} = 20^\circ \text{C}$, $W_p = 15\%$.

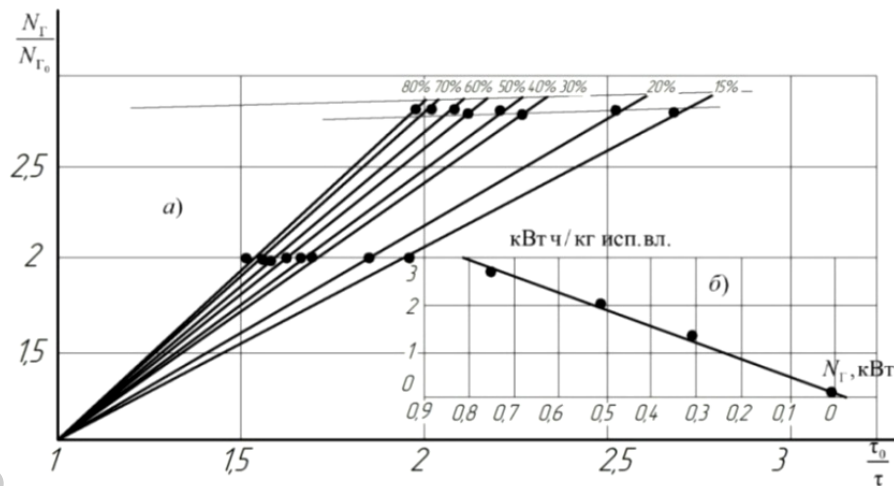


Рисунок 3 — График зависимости относительной мощности генерации энергии $\frac{N_r}{N_{r_0}}$ от

относительного времени сушки $\frac{\tau_0}{\tau}$ при различных влагосодержаниях (а) и зависимость расхода электроэнергии на 1 кг испаренной влаги от мощности генератора СВЧ (б)

Из рисунка 3 видно, что сушка до конечного равновесного влагосодержания тканей $W_p = 15\%$ при увеличении мощности генератора в 2 раза сокращает длительность сушки в 1,9 раза, в 2,8 раза — сокращает время сушки в 2,75 раза. Следовательно, сокращение времени сушки пропорционально возрастанию мощности генератора СВЧ.

Считая, что влагосодержание материала в процессе сушки изменяется по экспоненциальному закону, [2] можно записать:

$$\frac{\ln(W_0 - W_p) - \ln(W - W_p)}{\tau - \tau_0} = k_1, \quad (7)$$

где W_0, W, W_p — начальное, текущее и равновесное влагосодержание материала, %.

Время τ_0 отсчитывается от начала процесса сушки. Коэффициент сушки k_1 не зависит от параметров процесса и является функцией мощности генератора СВЧ.

Изменение влагосодержания материала W от времени можно выразить также зависимостью [4]

$$\lg \bar{U} = \lg \frac{W - W_p}{W_0 - W_p} = f(\tau). \quad (8)$$

На рисунке 4 дана обработка опытных данных по уравнениям (7) и (8). Решением соотношений (7) и (8) находится длительность сушки до любого заданного значения текущего влагосодержания W в заданном диапазоне мощностей генератора СВЧ.

$$\tau = -\frac{1}{k_1} \ln \frac{W - W_p}{W_0 - W_p}; \quad (9)$$

$$\tau = -\frac{1}{k_2} \lg \frac{W - W_p}{W_0 - W_p}. \quad (10)$$

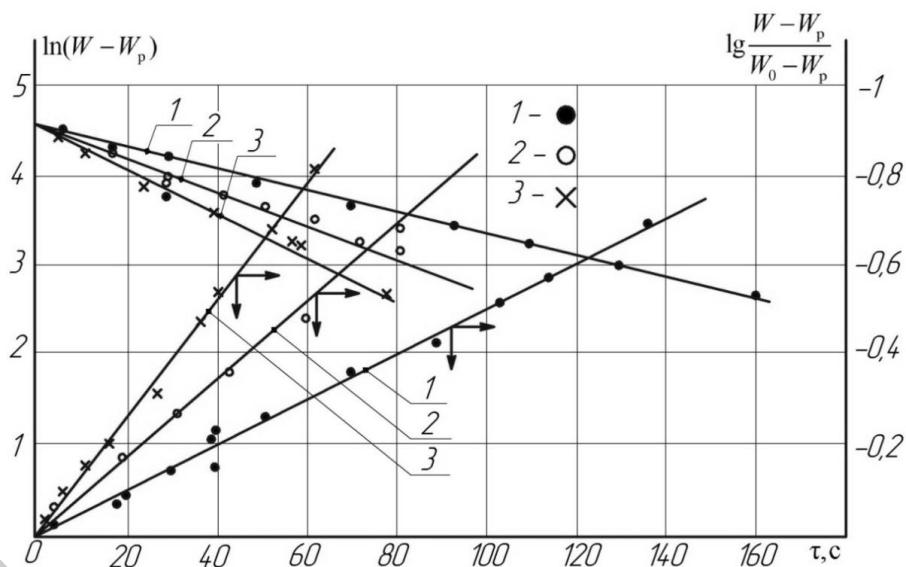


Рисунок 4 — Зависимость $\ln(W - W_p) = f(\tau)$ и $\lg\left(\frac{W - W_p}{W_0 - W_p}\right) = f(\tau)$ в процессе

сверхвысокочастотной сушки тканей при режимах: 1 — $N_r = 300 \text{ Вт}$;

2 — $N_r = 600 \text{ Вт}$; 3 — $N_r = 850 \text{ Вт}$

Коэффициенты сушки k_1 и k_2 определяются линейными зависимостями, полученными при обработке опытных данных, представленных на рисунке 5.

$$k_1 = 4 \cdot 10^{-5} N_r, \quad (11)$$

$$k_2 = 1,7 \cdot 10^{-5} N_r. \quad (12)$$

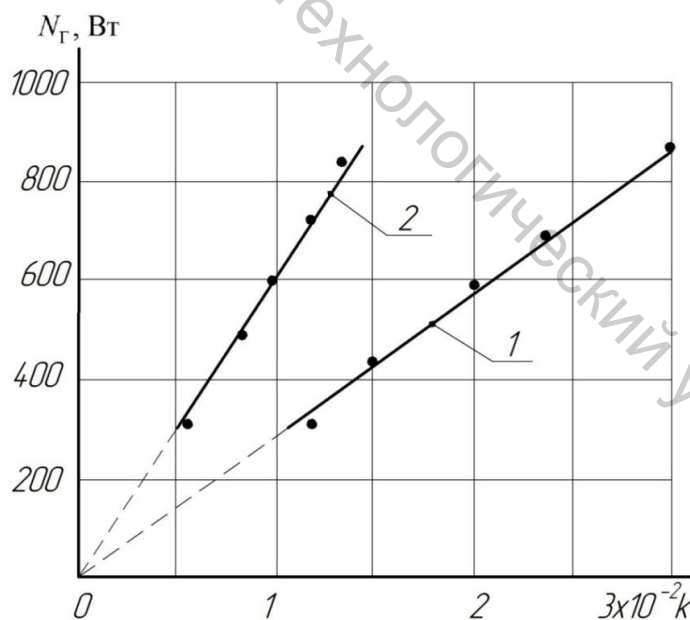


Рисунок 5 — Зависимость коэффициента сушки k от мощности генератора СВЧ при сушке тканей: 1 — уравнение (9); 2 — уравнение (10)

Представленные на рисунке 2 зависимости можно выразить уравнениями

$$\frac{\tau_0}{\tau} = \exp\left(2,5 \frac{W}{W_0}\right); \quad (13)$$

или

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \exp\left(-2,5 \frac{W}{W_0}\right), \quad (14)$$

где τ_0 — время сушки до равновесного влагосодержания $W_p = 15\%$ для каждого режима сушки.

Уравнения (13) и (14) позволяют рассчитать время сушки τ влажной ткани от начального влагосодержания W_0 до заданного текущего или до равновесного $W_p = 15\%$ в диапазоне изменения мощности генератора СВЧ от 300 до 850 Вт.

На рисунке 6 а, б представлена обработка эксперимента в виде зависимостей безразмерного времени τ_0 / τ от относительного влагосодержания W/W_0 (а) и критерия Померанцева Po от объемной плотности потока тепла в материале Q_v (б) для процесса сушки тканей в поле СВЧ. Анализ опытных данных, приведенных на рисунке 6 а, б и таблицы 1 показывает, что параметры Po и Q_v возрастают пропорционально увеличению мощности генератора СВЧ.

Количество тепла, выделяемое в единице объема материала (Bm / m^3), представляющее источник тепла, определяется по полуэмпирической формуле (1). При расчете источника тепла Q_v необходимо знать тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$, который при обезвоживании тканей уменьшается во всем диапазоне частот и существенно зависит для волокнистых тканей от влагосодержания. Для тканей с кондиционной влажностью $W_k \approx 8 \div 12\%$ $tg\delta$ лежит в пределах $tg\delta \approx 0,02 \div 0,06$, а при влажности 30 – 100 % определяется как тангенс угла диэлектрических потерь по воде, содержащейся в тканях, и изменяется от $0,1 \div 0,13$ до 1,4 при влажности ткани $W = 80 \div 100\%$.

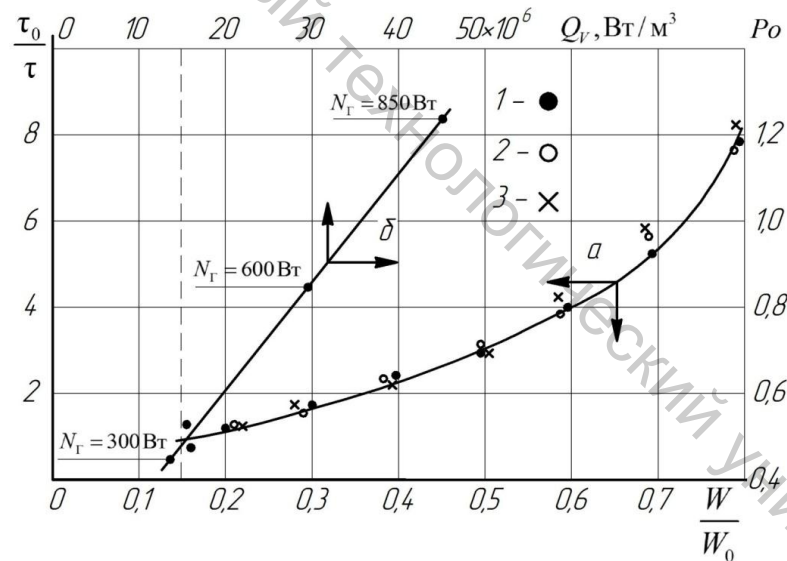


Рисунок 6 — Зависимость $\frac{\tau_0}{\tau}$ от относительного влагосодержания $\frac{W}{W_0}$ (а) и критерия

Померанцева Po от объемной плотности потока тепла в материале Q_v (б) в процессе сушки тканей в поле СВЧ

Мощность Q_v , выделяемая в единице объема материала и определяемая по формуле (1), при заданных значениях частоты электрического поля ν , тангенса угла потерь и коэффициента потерь $k = \epsilon_m tg\delta$ зависит от напряженности электрического поля E (В / м).

По значению энергии Q_v при заданных характеристиках электрического поля и влажности материала можно вычислить мощность источника генерации энергии и критерий Померанцева Po , характеризующий интенсивность переноса влаги внутри тела.

При изменении мощности генератора СВЧ от $N_r = 300 \text{ Вт}$ до $N_r = 850 \text{ Вт}$ напряженность электрического поля E (В/м) регулировалась в диапазоне $E = (200 \div 400) \cdot 10^2 \text{ В/м}$. Значения Q_v для тканей при средней влажности $W \approx 30 \div 60 \%$ вычислялись при значениях $\varepsilon_m = 2$ для ткани и среднего значения угла тангенса потерь $\tan \delta \approx 0,1 \div 0,13$ при напряженностях электрического поля $E_1 = 200 \cdot 10^2 \text{ В/м}$ для мощности $N_r = 300 \text{ Вт}$, $E_2 = 285 \cdot 10^2 \text{ В/м}$ — $N_r = 600 \text{ Вт}$ и $E_3 = 385 \cdot 10^2 \text{ В/м}$ — $N_r = 850 \text{ Вт}$.

Тепло, подводимое к материалу, определяется по основному уравнению кинетики сушки (3). Конвективная составляющая $q_k(\tau)$ при свободной конвекции по сравнению с величиной $Q_v R_v$ много меньше, и ею можно пренебречь.

Мощность теплового потока, подводимого к материалу, вычислялась по уравнению

$$q = Q_v R_v F_u, \text{ Вт}, \quad (15)$$

где F_u — поверхность испарения материала, м^2 .

Результаты расчета значений Q_v , критерия Померанцева Po и мощности тепловых потоков от напряженности электрического поля даны в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты расчета значений основных параметров сушки тканей в поле сверхвысокой частоты от напряженности электрического поля

$E, \text{ В/м}$	$Q_v \cdot 10^{-6}, \text{ Вт/м}^3$	$q, \text{ Вт}$	Po	$N_r, \text{ Вт}$
$200 \cdot 10^2$	14,2	285	0,42	300
$275 \cdot 10^2$	29,3	580	0,85	600
$375 \cdot 10^2$	45,1	840	1,32	850

Мощность генератора СВЧ при сушке влажного материала определяется по экспериментальной зависимости [6]

$$N_r = \frac{1,16(Q_n + Q_u + Q_5)}{\eta_r \eta_k},$$

где Q_n — теплота, затраченная на нагрев влажного материала, Вт; Q_u — теплота, затраченная на испарение влаги из материала, Вт; Q_5 — потери тепла в окружающую среду, Вт; η_r, η_k — КПД генератора, равный $\eta_r = 0,65$, и контура, равный $\eta_k = 0,5$.

Потери тепла в окружающую среду:

$$Q_5 = 0,05(Q_n + Q_u). \quad (16)$$

Теплота, идущая на испарение влаги, вычислялась по уравнению

$$Q_u = r \cdot j \cdot \frac{F_u}{3600}, \text{ Вт}, \quad (17)$$

где r — теплота парообразования, Дж/кг; j — интенсивность испарения влаги, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$; F_u — поверхность испарения материала, м^2 .

Теплота на нагрев материала

$$Q_n = G_0 \cdot c_0 \cdot t_m / \tau, \text{ Вт}, \quad (18)$$

где G_0 — абсолютно сухой вес материала, кг; c_0 — теплоемкость сухой ткани, Дж / кг⁰С; τ — время сушки до кондиционного влагосодержания, с.

Расчеты мощности генератора СВЧ по формуле (16) и по значениям напряженности электрического поля (таблица 2) показали достаточно надежное совпадение эксперимента с расчетными данными и с паспортными характеристиками генератора СВЧ.

Таблица 2 — Сравнение расчетных значений мощности генератора СВЧ с паспортными характеристиками

$N_{Г\text{ пасп}}, \text{ Вт}$	$N_{Г\text{ экс}}, \text{ Вт}$	$N_{Г}, \text{ Вт (табл. 1, } q)$
300	320	285
600	585	580
850	844	840

По результатам исследования процесса сушки тканей в поле сверхвысокой частоты проведены расчеты затрат электроэнергии на сушку в кВт ч/кг испаренной влаги.

Таблица 3 — Сравнение расчетных значений времени сушки τ по формулам (9) и (10) с результатами эксперимента

$N_{Г} = 300 \text{ Вт}$								
$W, \%$	15	20	30	40	50	60	70	80
$\tau_{\text{экс}}, \text{ с}$	160	135	98	76	56	42	31	19
$\tau_{\text{расч}}(9), \text{ с}$	158	133,5	100	76,4	57,7	42,5	29,7	18,6
$\tau_{\text{расч}}(10), \text{ с}$	160	137	102	78	59	43,5	30,5	19
$N_{Г} = 600 \text{ Вт}$								
$\tau_{\text{экс}}, \text{ с}$	82	72	55	41	30	22	15	10
$\tau_{\text{расч}}(9), \text{ с}$	78	68	51	39	29	21,5	15	9,5
$\tau_{\text{расч}}(10), \text{ с}$	82	70	52,5	40	30	22	15,5	9,7
$N_{Г} = 850 \text{ Вт}$								
$\tau_{\text{экс}}, \text{ с}$	59	50	39	29	20	15	10	6
$\tau_{\text{расч}}(9), \text{ с}$	56	48,5	36	27,5	20,7	15	10,7	6,7
$\tau_{\text{расч}}(10), \text{ с}$	55	46,5	35	26,5	20	14,6	10,2	6,3

Для исчисления себестоимости энергии в энергетике применяется метод построения треугольника Гинтера [7]. На одной стороне треугольника откладывается величина затрат электроэнергии на 1 кг испаренной влаги (кВт ч / кг исп. вл.), на другой — мощность генератора СВЧ. На рисунке 3 б построен такой треугольник, выражающий электрозатраты на 1 кг испаренной влаги. Расчеты показали, что расход электроэнергии при сверхвысокочастотном нагреве тканей, как при сушке других влажных материалов, составляет 2 – 3,5 кВт / ч на 1 кг испаренной влаги [6].

Исследования терморadiационной сушки тканей [4] при температурах излучателя $t_{из} \approx 150 \div 250$ °С и температурах среды $t_c \approx 80 \div 120$ °С показали, что расходы энергии на испарение 1 кг влаги составили 0,7 – 1,2 кВт / ч, что существенно ниже, чем при сушке

СВЧ, а при конвективной сушке нагретыми газами ниже в 2,5 – 5 раз даже при оптимальных режимах сушки СВЧ [2].

В таблице 3 дано сравнение расчетных значений времени сверхвысокочастотной сушки тканей τ по формулам (9) и (10) с экспериментом. Видно достаточно надежное совпадение значений времени сушки в пределах точности проведения эксперимента.

ВЫВОДЫ

Исследование сушки токами сверхвысокой частоты показало высокую эффективность подвода тепла в объем влажного тела, высокую интенсивность испарения влаги во всем объеме материала, значительное сокращение длительности сушки даже по сравнению с интенсивной сушкой тканей термоизлучением. Равномерное распределение влагосодержания по всему объему тела позволяет получать высокие технологические свойства высушиваемого материала.

В результате обработки экспериментов по сушке тканей в поле сверхвысокой частоты получены уравнения для расчета длительности процесса сушки до кондиционного влагосодержания, мощности тепловых потоков при различных режимах, определены основные кинетические зависимости, характеризующие сушку СВЧ.

Установлено, что изменение мощности генерирующего источника прямо пропорционально сокращению времени сушки и возрастанию объемной плотности выделяемого тепла в материале Q_v (Вт / м³) и критерия Померанцева Ro .

Увеличение мощности генератора СВЧ в 2 раза сокращает время сушки в 1,9 раза, в 2,8 раза — в 2,8 раза, параметр Q_v и критерий Померанцева, характеризующие интенсивность испарения влаги, возрастают соответственно в 2 раза и в 2,8 раза.

Формулы, полученные обработкой опытных данных по сушке тканей, проверялись сопоставлением расчетных значений с экспериментом, которое представлено в таблице 3.

Недостатками сушки токами сверхвысокой частоты являются большой расход энергии, сложное оборудование, требующее повышенные требования к технике безопасности. Сушка токами сверхвысокой частоты даже при оптимальных режимах для большинства материалов и тканей, в том числе, оказывается в несколько раз (3–5) дороже сушки нагретыми газами. Поэтому применение сверхвысокочастотной сушки требует технико-экономического обоснования в целесообразности использования этого метода для термообработки конкретного материала.

Список использованных источников

1. Побединский, В. С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ, СВЧ и УФ диапазонов / В. С. Побединский. — Иваново : ИХР РАН, 2000. — 128 с. : ил.
2. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. — Москва : Энергия, 1968. — 472 с. : с илл.
3. Кавказов, Ю. Л. Тепло- и массообмен в технологии кожи и обуви / Ю. Л. Кавказов. — Москва : Легкая индустрия, 1973. — 272 с.
4. Олышанский, А. И. Исследование процесса терморadiационной сушки тканей / А. И. Олышанский, В. И. Олышанский // Вестник ВГТУ. — 2012. — Вып. 22. — С. 82 – 93.
5. Ганин, Е. А. Теплоиспользующие установки в текстильной промышленности / Е. А. Ганин. — Москва : Легпромиздат, 1989. — 392 с.
6. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. — Москва : Химия, 1970. — 432 с.
7. Сви́дерская, О. В. Основы энергосбережения : курс лекций / О. В. Сви́дерская. — 3-е изд. — Академия управления при Президенте Республики Беларусь. — Минск, 2004. — 296 с.

Статья поступила в редакцию 20.12.2012.

Выходные данные

Ольшанский, А. И. Исследование СВЧ сушки тканей / А. И. Ольшанский, В. И. Ольшанский, С. В. Жерносек // Вестник Витебского государственного технологического университета . — 2013. — № 24. — С. 55.

Витебский государственный технологический университет