

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ И ОБУВНЫХ ВЛАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА

А. И. Ольшанский, С. В. Жерносек

УДК 66.047.37

РЕФЕРАТ

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА, КРИТЕРИЙ БИО, ТЕМП НАГРЕВАНИЯ ВЛАЖНОГО ТЕЛА, ТЕМП УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ МАТЕРИАЛА, СКОРОСТЬ СУШКИ, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ

Приведены результаты исследований конвективной сушки шерстяного войлока и подошвенной кожи методом регулярного режима. Рассмотрены основные положения теории регулярного режима применительно к процессам сушки влажных материалов.

Метод регулярного режима нагревания твердых тел, применительно к процессам сушки влажных материалов, дает возможность, не прибегая к построению и интегрированию кривой скорости сушки, рассчитать кинетику процесса. Этот метод позволяет при минимальном числе постоянных, определяемых из опыта, найти все основные параметры кинетики сушки – время сушки, температуру материала во втором периоде и интенсивность теплообмена, что значительно сокращает время и объем расчетной работы.

В результате обработки опытных данных по сушке подошвенной кожи и шерстяного войлока разработана методика расчета параметров кинетики сушки на основе теории регулярного режима. Представлены все необходимые расчетные уравнения для определения основных параметров сушки: получены значения темпа нагревания влажного тела и темпа удаления влаги из материала; установлены закономерности изменения среднеинтегральных температур и тепловых потоков на основе теории регулярного режима.

Полученные уравнения для вычисления темпа нагревания и темпа удаления влаги справедливы для группы влажных материалов, упрощают расчет параметров их сушки и значительно сокра-

ABSTRACT

INTEGRAL TEMPERATURE, BIOT, RATE OF HEATING MOIST BODY, THE RATE OF REMOVING MOISTURE FROM THE MATERIAL, THE RATE OF DRYING, THE MOISTURE CONTENT

The aim is to study convective drying of wool felt and plantar skin by regular regime. Basic theory postulates of regular regime in relation to the processes of drying moist materials are investigated.

Method of regular regime of heating of solids is used in the calculation of the drying process of moist materials and allows to calculate the kinetics of the process of integration operation without drying rate curve. All major drying kinetics parameters (duration of the drying temperature of the material in the second period and the intensity of heat transfer) can be found with a minimum number of experimental constants. This significantly reduces the time and amount of calculation work.

All the necessary data are presented and the dependence of the main drying parameters is calculate: the rate of heating, the values of the wet material and the rate of removal of moisture from the material; given function changes mean integral temperature and heat flux on the basis of the theory of regular regime.

The resulting equation for calculating the rate of heating and rate of moisture removal can be used for a group of moist materials. If You use the proposed methods, you can simplify the calculation of the parameters of drying and significantly reduce the number of experiments. Method regular thermal conditions can be used for the processing and analysis of the experimental data for drying of various materials with various methods for supplying energy.

щают число экспериментов. Метод регулярного теплового режима может быть использован для обработки и анализа данных экспериментов по сушке разнообразных материалов при различных способах энергоподвода.

ВВЕДЕНИЕ

Основные теплотехнические операции текстильной и обувной промышленности показывают, что и на промежуточных, и на заключительных стадиях обработки материалов необходима сушка. В процессе технологической обработки материалы подвергаются различным технологическим операциям – аппретированию, мерсеризации, крашению, жированию, дублению и прочим. Такое значительное число операций предъявляет к сушке и сушильному оборудованию ряд требований.

Правильно организованный процесс сушки должен улучшать технологические свойства, сокращать длительность сушки и уменьшать энергозатраты на процесс. В текстильной и обувной промышленности широко используется конвективная сушка нагретым воздухом, как менее энергозатратная по сравнению с другими методами энергоподвода.

В процессе сушки влажных материалов происходит непрерывное изменение температуры и влагосодержания. При этом в материале возникают градиенты влагосодержания, которые могут вызывать изменение структурно-механических свойств, коробление и разрушение материала.

Поэтому необходимы простые, надежные методы расчета основных параметров кинетики сушки, позволяющие отслеживать изменение температуры и влагосодержания в процессе.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим сушку тонких материалов в виде неограниченных пластин толщиной $R_v = \delta$, где R_v – отношение объема тела к поверхности. Начальное распределение температуры и влагосодержания равномерное. В начальный момент времени материал помещается в среду с постоянной температурой $t_c = \text{const}$ и проходит

сушку. Между ограничивающими поверхностями материала со средой при $t_c = \text{const}$ происходит конвективный теплообмен по закону Ньютона. Необходимо найти закономерности распределения температуры, влагосодержаний в материале и определить плотности тепловых потоков в процессе сушки. Такие задачи относятся к решению дифференциальных уравнений тепломассопереноса при граничных условиях третьего рода и к задачам теории регулярного режима применительно к процессам сушки.

РЕГУЛЯРНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ

Рассмотрим основные положения теории регулярного режима. Основным признаком регулярного режима для процесса конвективной сушки являются зависимости [1, 2]

$$-\frac{dt}{d\tau} = m_t (t_c - \bar{t}); \quad (1)$$

$$-\frac{d\bar{u}}{d\tau} = m_u (u_0 - \bar{u}), \quad (2)$$

где $dt / d\tau$ и $d\bar{u} / d\tau$ – скорости регулярного нагревания тела и убыли влагосодержания; m_t и m_u – темп нагревания тела и темп убыли влагосодержания в материале; t_c – температура теплоносителя; \bar{t} – среднеинтегральная температура материала; u_0 и \bar{u} – начальное и текущее влагосодержание материала.

Величины m_t и m_u играют центральную роль в теории регулярного режима и определяются экспериментально при построении зависимостей

$$m_t = \frac{\ln(t_c - \bar{t}_1) - \ln(t_c - \bar{t}_2)}{\tau_2 - \tau_1}; \quad (3)$$

$$m_u = \frac{\ln(W_0 - W_2) - \ln(W_0 - W_1)}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (4)$$

где $\bar{t}_1, \bar{t}_2, W_1, W_2, \tau_1, \tau_2$ – фиксированные значения температуры, влагосодержания и интервалы времени сушки; W_0 – начальное значение влагосодержания.

Величина темпа нагревания влажного тела любой формы на основании (1) определяется из балансового уравнения энергии [1, 2]:

$$c_w \rho_0 \frac{V}{F} \frac{d\bar{t}}{d\tau} = \bar{a}(t_c - t_n) = c_w \rho_0 V (t_c - \bar{t}) m_t, \quad (5)$$

где c_w – теплоемкость влажного материала, Дж / кг °С; ρ_0 – плотность, кг / м³; V – объем тела, м³; F – поверхность, м²; t_n – температура поверхности материала, °С; \bar{a} – коэффициент теплообмена между поверхностью и средой, Вт / м² °С.

Из решения уравнения (5) следует:

$$m_t = \frac{\bar{a} F}{c_w \rho_0 V} \cdot \frac{(t_c - t_n)}{(t_c - \bar{t})} = \frac{\bar{a} a}{\lambda_w R_V} \psi = \frac{a}{R_V^2} Bi \psi. \quad (6)$$

Здесь $Bi = \bar{a} R_V / \lambda_w$ – критерий Био; $a = \lambda_w / c_w \rho_0$ – коэффициент температуропроводности, м² / ч; λ_w – коэффициент теплопроводности влажного материала, Вт / м °С.

Коэффициент неравномерности распределения температуры во влажном материале

$$\psi = \frac{(t_c - t_n)}{(t_c - \bar{t})}.$$

Интегрируя левую часть уравнения (5), получим [3]:

$$\ln(t_c - \bar{t}) = \frac{\bar{a}}{c_w \rho_0 R_V} \cdot \tau + B. \quad (7)$$

Постоянная B определяется из начального условия: для периода убывающей скорости сушки

при $\tau = 0, B = \bar{t}_0$, где \bar{t}_0 – температура материала в периоде постоянной скорости сушки.

Решение уравнения (7) можно записать в виде [1]

$$\frac{t_c - \bar{t}}{t_c - \bar{t}_0} = \bar{\Theta} = \exp\left(-\frac{\bar{a}}{c_w \rho_0 R_V} \tau_{II}\right). \quad (8)$$

где $\bar{\Theta}$ – относительная избыточная температура материала; τ_{II} – время сушки во втором периоде.

Следовательно, процесс нагревания влажного тела описывается простой экспонентой. При сушке тонких плоских влажных материалов критерий $Bi < 0,1$ (практически достаточно $Bi < 0,4$), а критерий $\psi \rightarrow 1$, и можно пользоваться формулой (8) [2, 4]. Из уравнения (6) при условии $Bi < 0,4$ и $\psi = 1$ следует:

$$m_t = \frac{a}{R_V^2} Bi = \frac{\lambda_w}{c_w \rho_0 R_V} \cdot \frac{\bar{a} R_V}{\lambda_w} \cdot \frac{(t_c - t_n)}{(t_c - \bar{t})} = \frac{\bar{a}}{c_w \rho_0 R_V}. \quad (9)$$

Тогда на основании (8) для относительной температуры получим

$$\bar{\Theta} = \frac{t_c - \bar{t}}{t_c - \bar{t}_0} = \exp(-m_t \tau_{II}). \quad (10)$$

В соответствии с теорией подобия величина $m_t \tau_{II}$ представляет обобщенную комплексную переменную процесса сушки [5].

Секундный поток теплоты находится из уравнения баланса

$$q = c_w \rho_0 R_V \frac{d\bar{t}}{d\tau}. \quad (11)$$

Дифференцируя решение (8) и подставляя результат в (11), получим [3]:

$$\frac{q_{II}}{\bar{a}(t_c - \bar{t}_0)} = \exp\left(-\frac{\bar{a}}{c_w \rho_0 R_V} \tau_{II}\right) = \exp(-m_t \tau_{II}), \quad (12)$$

где теплота $q_I = \bar{\alpha}(t_c - \bar{t}_0) = \bar{\alpha}_{кр}(t_c - \bar{t}_0)$ есть теплота, подводимая к материалу в первом периоде сушки; q_{II} – теплота, затрачиваемая на испарение влаги из материала во втором периоде сушки; $\bar{\alpha}_{кр}$ – коэффициент теплообмена в первом периоде сушки, Вт / м² °С.

Уравнение (12) запишем в следующем виде:

$$q^* = \frac{q_{II}}{q_I} = \exp(-m_t \tau_{II}). \quad (13)$$

Сравнение уравнений (10) и (13) устанавливает, что регуляризация процесса теплообмена происходит и по температурам, и по тепловым потокам.

Из решения дифференциального уравнения тепломассообмена для влажной неограниченной пластины при граничных условиях третьего рода (сушка) А.В. Лыковым [2] получены зависимости для безразмерных потенциалов переноса тепла и вещества:

$$\bar{\Theta} = \frac{t_c - \bar{t}}{t_c - \bar{t}_0} = f(Bi Fo); \quad \bar{U} = \frac{W - W_p}{W_0 - W_p} = f(Pd Fo), \quad (14)$$

где \bar{U} – относительное влагосодержание материала; критерий Фурье $Fo = \alpha \tau / R_v^2$, критерий Предводителя $Pd = kR_v^2 / a$, k – коэффициент сушки, с⁻¹, мин⁻¹; W_p – равновесное влагосодержание материала, %.

Исходя из терминологии теории регулярного режима запишем критерий Предводителя в виде

$$Pd = \frac{m_u R_v^2}{a},$$

где m_u – темп удаления влаги из материала, с⁻¹, мин⁻¹.

Комбинации критериев $Bi Fo$ и $Pd Fo$ представляют важные обобщенные переменные процесса сушки:

$$Bi Fo = m_t \tau_{II}; \quad Pd Fo = \frac{m_u R_v^2}{a} \cdot \frac{a \tau}{R_v^2} = m_u \tau. \quad (15)$$

Следовательно, темп нагревания материала m_t и темп убыли влагосодержания m_u зависят от критериев Bi , Fo и Pd .

Введение в практику сушки таких обобщенных параметров придает исследованию сушки обобщенный характер, сближает практику с теорией и сокращает число необходимых экспериментов [5].

Инвариантность величин $m_t \tau_{II}$ и $m_u \tau$ при заданном влагосодержании материала независимо от режима сушки представляет собой наиболее общие закономерности кинетики сушки влажных материалов при различных методах энергоподвода [5].

Таким образом, на основании (15) запишем:

$$\bar{\Theta} = \exp(-m_t \tau_{II}); \quad (16)$$

$$\bar{U} = \exp(-m_u \tau). \quad (17)$$

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ВЫВОД РАСЧЕТНЫХ УРАВНЕНИЙ

На рисунках 1 а, б и 2 а, б изображены типичные температурные кривые $\bar{t} = f(\bar{u})$, $\bar{t} = f(\tau)$ и кривые сушки $W = f(\tau)$ для процесса сушки подошвенной кожи и шерстяного войлока при различных режимах. Видно, что при сушке тонких материалов ($R_v = \delta \approx 4-8$ мм) и критерии $Bi < 0,4$ наблюдаются период постоянной скорости сушки и период постоянной температуры. Переход от первого периода сушки ко второму происходит при достижении первого критического влагосодержания $W_{кр}$.

Обработка экспериментальных данных по сушке подошвенной кожи и шерстяного войлока по уравнениям (3) и (4) представлена на рисунках 3 а, б и 4 а, б. Изображенные графические зависимости имеют вид прямых. Следовательно, распределение температуры и влагосодержания внутри влажного материала описывается простыми экспонентами и не зависит от начального распределения температуры и влагосодержания [1, 2, 4].

Получены следующие значения для темпа нагревания влажного материала: для подошвенной кожи $m_t = 0,04$ мин⁻¹ (при режимах сушки $t_c = 40, 50, 60$ °С; скорости воздуха $v = 3,5$ м / с); для шерстяного войлока $m_t = 0,02$ мин⁻¹ (при ре-

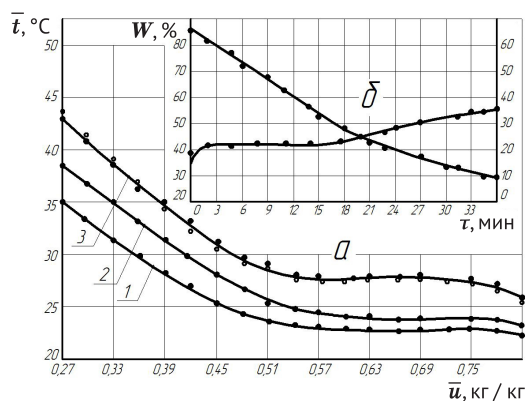


Рисунок 1 – Температурные кривые $\bar{t} = f(\bar{u})$ (а) и $\bar{t} = f(\tau)$ и кривые сушки $W = f(\tau)$ (б) для процесса сушки подошвенной кожи при режимах: 1 – $t_c = 40^\circ\text{C}$; $v = 3 \text{ м / с}$; 2 – $t_c = 50^\circ\text{C}$; $v = 5 \text{ м / с}$; 3 – $t_c = 60^\circ\text{C}$; $v = 5 \text{ м / с}$

$$\bar{t} = t_c - \frac{t_c - \bar{t}_0}{\exp(m_t \tau_{II})}; \quad (18)$$

$$\tau = -\frac{1}{m_u} \frac{W - W_p}{W_0 - W_p}; \quad (19)$$

$$\tau_{II} = -\frac{1}{m_u} \ln \frac{W}{W_{кр}}, \text{ при } W < W_{кр}. \quad (20)$$

Температура влажного материала в первом периоде сушки приближенно вычисляется по выражению

$$\bar{t}_0 = \frac{t_c}{0,01t_c + 1,5}. \quad (21)$$

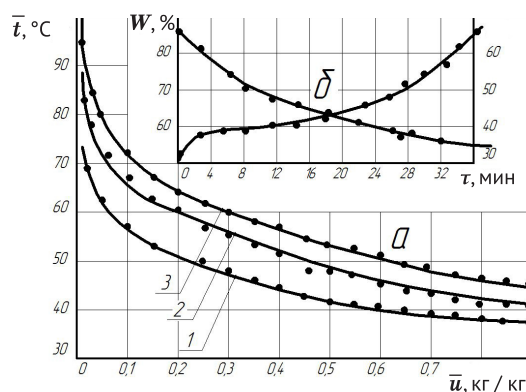


Рисунок 2 – Температурные кривые $\bar{t} = f(\bar{u})$ (а) и $\bar{t} = f(\tau)$ и кривые сушки $W = f(\tau)$ (б) для процесса сушки шерстяного войлока при режимах: 1 – $t_c = 90^\circ\text{C}$; $v = 3 \text{ м / с}$; 2 – $t_c = 120^\circ\text{C}$; $v = 5 \text{ м / с}$; 3 – $t_c = 150^\circ\text{C}$; $v = 10 \text{ м / с}$

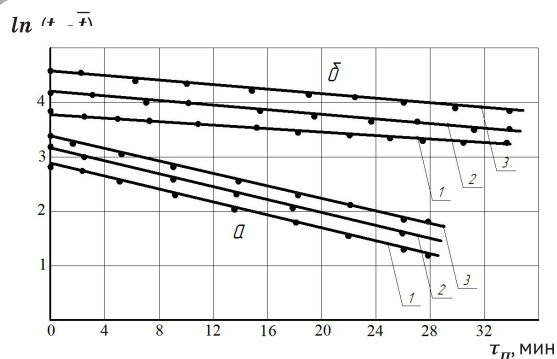


Рисунок 3 – Зависимости $\ln(t_c - \bar{t}) = f(\tau_{II})$ для сушки подошвенной кожи (а) и шерстяного войлока (б) при режимах, указанных на рисунках 1 и 2

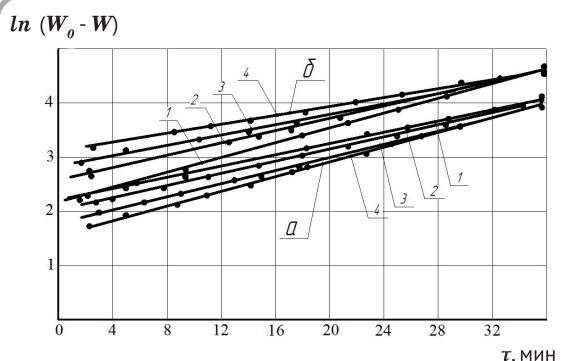


Рисунок 4 – Зависимости $\ln(W_0 - W) = f(\tau)$ для сушки подошвенной кожи (а) и шерстяного войлока (б) при режимах, указанных на рисунках 1 и 2

режимах сушки $t_c = 90, 120, 150^\circ\text{C}$; скорости воздуха $v = 3, 5, 10 \text{ м / с}$.

На рисунках 5 и 6 а, б представлена обработка опытных данных по уравнениям (16) и (17). Видно, что при сушке подошвенной кожи и шерстяного войлока при различных режимах все экспериментальные точки укладываются на кривые с разбросом в пределах точности проведения эксперимента.

Решением уравнений (16) и (17) определяются среднеинтегральная температура длительности процесса сушки:

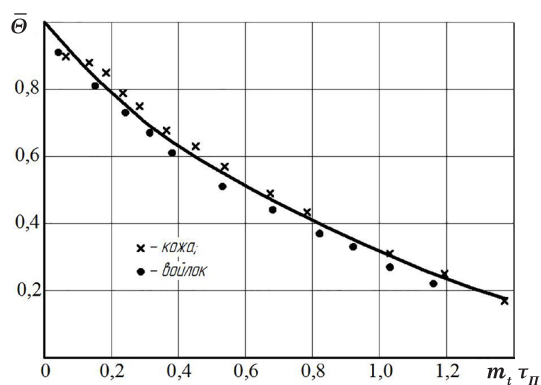


Рисунок 5 – Зависимость $\bar{\Theta} = \exp(-m_t \tau_{II})$ для сушки подошвенной кожи и шерстяного войлока при режимах, указанных на рисунках 1 и 2

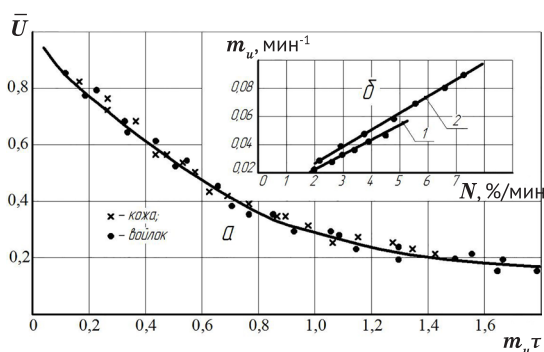


Рисунок 6 – Зависимости $\bar{U} = \exp(-m_t \tau_{II})$ (а) и $m_u = f(N)$ (б) для сушки подошвенной кожи и шерстяного войлока при режимах, указанных на рисунках 1 и 2

Темп убыли влагосодержания m_u оказывает сложной функцией режима сушки, начального влагосодержания W_0 , скорости сушки в первом периоде N , способа подвода теплоты к материалу и прочих факторов, воздействующих на процесс.

Экспериментально установлено, что величина m_u прямо пропорциональна скорости сушки в первом периоде N и не зависит от начального влагосодержания W_0 [4, 5].

В результате обработки эксперимента по сушке многих различных влажных материалов (более 15) для m_u установлено эмпирическое уравнение

$$m_u = 0,087 N \exp(-0,02 W_0), \quad (22)$$

где N – скорость сушки в первом периоде, мин⁻¹.

На рисунке 6 б дана зависимость $m_u = f(N)$ для процесса сушки подошвенной кожи и шерстяного войлока при различных режимах.

Плотности тепловых потоков для периода убывающей скорости сушки вычисляются по уравнению (13)

$$q_{II} = q_I \exp(-m_t \tau_{II}). \quad (23)$$

Плотность потока тепла в первом периоде определяется по выражению

$$q_I = r \rho_0 R_V N, \text{ Вт / м}^2 \quad (24)$$

где r – теплота парообразования, Дж / кг; $N = dW / dt = \text{const}, \text{ с}^{-1}$.

Обработкой опытных данных по сушке подошвенной кожи и шерстяного войлока получены простые зависимости для определения плотностей теплового потока для периода падающей скорости сушки

$$q_{II} = q_I 0,13 \exp\left(A \frac{W}{W_{кр}}\right). \quad (25)$$

Коэффициент A принимает значения: для подошвенной кожи $A = 2,5$; для шерстяного войлока $A = 3,7$.

В таблице 1 представлено сравнение экспериментальных и расчетных значений температуры, длительности процесса сушки и тепловых потоков по уравнениям (18), (19), (20), (23) и (25).

В таблице 2 дан расчет кинетики сушки шерстяного войлока методом регулярного теплового режима. Сопоставление расчетных значений параметров кинетики сушки, вычисленных по формулам, с экспериментом находится в пределах точности проведения эксперимента, и погрешность в расчетах не превышает допустимых пределов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод регулярного режима нагревания твердых тел, применительно к процессам сушки влажных материалов, дает возможность, не при-

Таблица 1 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений температуры и длительности сушки, полученных на основе уравнений (20) и (18) для процессов сушки подошвенной кожи и шерстяного войлока

Подошвенная кожа (рантовая) $\delta = 3,5$ мм; $W_0 = 86$ %; $W_{кр} = 57,5$ % Режим сушки: $t_c = 60$ °С; скорость воздуха $v = 3$ м / с; $N = dW / dt = 3,15$ % / мин								
W, %	$\tau_{II\text{ экс}},$ мин	$\tau_{II\text{ рас}},$ мин (20)	$\bar{t}_{\text{экс}},$ °С	$\bar{t}_{\text{рас}},$ °С (18)	$\tau_{\text{экс}},$ мин	$\tau_{\text{рас}},$ мин (19)	$q_{II},$ Вт / м ² (23)	$q_{II},$ Вт / м ² (25)
45	5,7	5,2	32	31	15,0	16	3510	3650
39	8,2	7,8	36	37	18,0	19	3170	2880
33	11,5	10,8	38	40	24,5	23	2780	2500
24	19,0	17,7	45	46	32,7	38	2060	1840
21	27,0	26,0	48	48	40,0	45	1650	1410
Шерстяной войлок $\delta = 8$ мм; $W_0 = 114$ %; $W_{кр} = 74$ % Режим сушки: $t_c = 90$ °С; скорость воздуха $v = 5$ м / с; $N = 5,3$ % / мин								
50	5,6	5,5	41,0	42,0	13,5	13,2	4525	4200
40	9,1	8,6	44,5	45,5	17,1	16,7	4240	4360
30	12,5	12,2	48,0	48,7	21,5	21,2	2944	2720
10	26,0	25,3	57,0	57,5	37,0	38,0	2013	1600
5	30,0	29,0	62,0	65,0	40,0	38,0	1700	1200

Таблица 2 – Расчет кинетики сушки шерстяного войлока методом регулярного теплового режима

Последовательность расчета кинетики сушки шерстяного войлока. Режим сушки: $t_c = 120$ °С; $v = 3$ м / с; $\delta = 8$ мм; $W_0 = 114$ %; $W_{кр} = 74$ %	Расчетная формула	Расчет	Эксперимент
1. Скорость сушки в первом периоде	$(W_0 - W_{кр}) / \tau_I = N$	6,00	6,13
2. Темп убыли влагосодержания	$m_u = 0,11 N \exp(-0,02 W_0)$	0,048	0,052
3. Темп нагревания влажного материала	$m_t = 0,115 \exp(-0,02 W_{кр})$	0,025	0,02
4. Время сушки в первом периоде	$\tau_I = (W_0 - W_{кр}) / N$	7,6	7,9
	$\tau_I = \frac{1}{m_u} \ln \frac{W_{кр}}{W_0}$	8,2	7,9
5. Длительность сушки до равновесной влажности $W_p = 4$ % при $t = 20$ °С, $\varphi = 70$ %	$\tau_{нож} = -\frac{1}{m_u} \ln \frac{W_p}{W_0}$	51	49
6. Средняя по объему температура материала в первом периоде	$\bar{t}_0 = t_c / (0,01 t_c + 1,5)$	44,5	45,0
7. Среднеобъемная температура материала в конце процесса сушки ($W_p = 4$ %)	$\bar{t}_к = t_c \cdot \frac{t_c - \bar{t}_0}{\exp(m_t \tau_{II})}$	92	89
8. Плотность теплового потока в первом периоде	$q_I = r \rho_0 R \frac{N}{100}$	2880	3000
9. Продолжительность сушки во втором периоде до влажностей материала $W = 10$ и 5 %	$\tau_{II} = -\frac{1}{m_u} \ln \frac{W^{10}}{W_{кр}}$	32	29
	$\tau_{II} = -\frac{1}{m_u} \ln \frac{W^5}{W_{кр}}$	42	39
10. Плотности теплового потока во втором периоде сушки при влагосодержаниях материала $W = 10$ и 5 %	$q_{II} = q_I \exp(-m_t \tau_{II})$	1297	1210
	$q_{II} = q_I \exp(-m_t \tau_{II})$	1007	-

бегая к построению и интегрированию кривой скорости сушки, рассчитать кинетику процесса. Этот метод позволяет при минимальном числе постоянных, определяемых из опыта, найти все основные параметры кинетики сушки – время сушки, температуру материала во втором периоде и интенсивность теплообмена, что значительно сокращает время и объем расчетной работы.

Полученные уравнения для вычисления m_t и m_u справедливы для группы влажных материалов, упрощают расчет параметров их сушки и значительно сокращают число экспериментов. Метод регулярного теплового режима может быть использован для обработки и анализа данных экспериментов по сушке разнообразных материалов при различных способах энергоподвода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лыков, А.В. (1967), *Теория теплопроводности*, Москва, Высшая школа, 600 с.
2. Лыков, А.В., Михайлов, Ю.А. (1963), *Теория тепло- и массопереноса*, Москва, Госэнергоиздат, 536 с.
3. Лыков, А.В. (1961), *Теоретические основы строительной теплофизики*, Минск, Академия наук БССР, 520 с.
4. Ольшанский, А.И., Ольшанский, В.И. (2012), Исследование теплообмена в процессе сушки методом регулярного режима, *Инженерно-физический журнал*, Т. 85, № 2, С. 385 – 391.
5. Красников, В.В. (1973), *Кондуктивная сушка*, Москва, Энергия, 288 с.

REFERENCES

1. Lykov, A.V. (1967), *Teorija teploprovodnosti*, [Heat conductivity theory], Moscow, Vysshaja shkola, 600 p.
2. Lykov, A.V., Mikhajlov, Y.A. (1963), *Teorija teplo- i massoperenosa*, [Theory of heat - and mass transfer], Moscow, Gosehnergoizdat, 536 p.
3. Lykov, A.V. (1961), *Teoreticheskie osnovy stroitel'noj teplofiziki*, [Theoretical fundamentals of construction thermophysics], Minsk, Akademija nauk BSSR, 520 p.
4. Ol'shanskij, A.I., Ol'shanskij, V.I. (2012), Study of heat transfer drying process method of regular regime [Issledovanie teploobmena v processe sushki metodom reguljarnogo rezhima], *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal – Journal of Engineering Physics*, V. 85, № 2, pp. 385-391.
5. Krasnikov, V.V (1973), *Konduktivnaja sushka* [Conductive drying], Moscow, Energy, 288 p.

Статья поступила в редакцию 25. 03. 2015 г.