

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ НАТУРАЛЬНЫХ КОЖ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

A STUDY OF THE CONVECTIVE DRYING OF NATURAL LEATHER WITH THE TOOL OF COMPLEX VARIABLES

УДК 675.026.267:66.047.1

А.И. Ольшанский*, А.А. Котов

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2019-13707>

A. Alshanski*, A. Kotow

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ, СРЕДНЕИНТЕГРАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА, СКОРОСТЬ СУШКИ, КОЭФФИЦИЕНТ СУШКИ, РАВНОВЕСНОЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ, ВРЕМЯ СУШКИ

Изложены результаты исследования кинетики конвективной сушки различных видов натуральных кож в свободном состоянии нагретым воздухом в широком диапазоне режимных параметров сушки. Представлены результаты обработки опытных данных устойчивыми обобщенными переменными. Даны приближенные экспериментальные уравнения для определения длительности сушки, плотности тепловых потоков, интенсивности испарения влаги, температуры в периоде падающей скорости сушки. Установлена связь между комплексными переменными процесса сушки. Предлагаемый метод расчета кинетики сушки кож позволяет с достаточной точностью определять все основные кинетические характеристики сушки. Дана проверка достоверности полученных уравнений и сравнение экспериментальных и расчетных значений параметров по полученным уравнениям.

ABSTRACT

MOISTURE CONTENT, AVERAGE INTEGRAL TEMPERATURE, DRYING SPEED, DRYING COEFFICIENT, EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT, DRYING TIME

In this paper, the authors presented the results of the study of the convective drying kinetics of various types of natural leather in a free state using heated air when changing the regime parameters of drying in a wide range. The results of processing experimental data using stable generalized variables for the drying process are presented. The article provides approximate experimental equations for determining the duration of drying, the density of heat fluxes, the intensity of evaporation of moisture, the temperature in the period of the falling drying rate. Also, the authors detected a relationship between the complex variables of the drying process. The proposed method for calculating the kinetics of drying of leathers allows one to determine with sufficient accuracy all the main kinetic characteristics of the drying process. For the purpose of the analysis, the validity of the obtained equations was verified and the experimental and calculated values of the parameters were compared using the obtained equations.

ВВЕДЕНИЕ

Сушка – процесс теплообмена, протекающий как непосредственно в самом материале, так и вблизи его поверхности.

Закономерности теплопереноса в материале оказываются в такой сложной взаимосвязи, что получение аналитических зависимостей из решений дифференциальных

уравнений переноса представляет большие трудности. Поэтому важной задачей для практики сушки является определение продолжительности процесса сушки и температуры материала, так как качество готовой продукции, расход тепла на сушку, способ энергоподвода, размеры сушильной камеры существенно зависят от времени протекания процесса обезвоживания и

* E-mail: tiomp@vstu.by (A. Alshanski)

длительности воздействия температуры на материал.

Сушка натуральной кожи – сложный комплексный теплотехнологический процесс, в котором кожа приобретает окончательные промышленные свойства и где параметры сушки являются основными определяющими факторами.

Основным препятствием для быстрой интенсивной сушки натуральных кож является значительная усадка при повышенных температурных режимах сушки. Поэтому сушка натуральных кож проводится при мягких температурных режимах теплоносителя $t_c = 30-60\text{ }^\circ\text{C}$, скорости $v = 0,5-2\text{ м/с}$ и высоких влагосодержаниях воздуха $\varphi = 30-60\text{ \%}$.

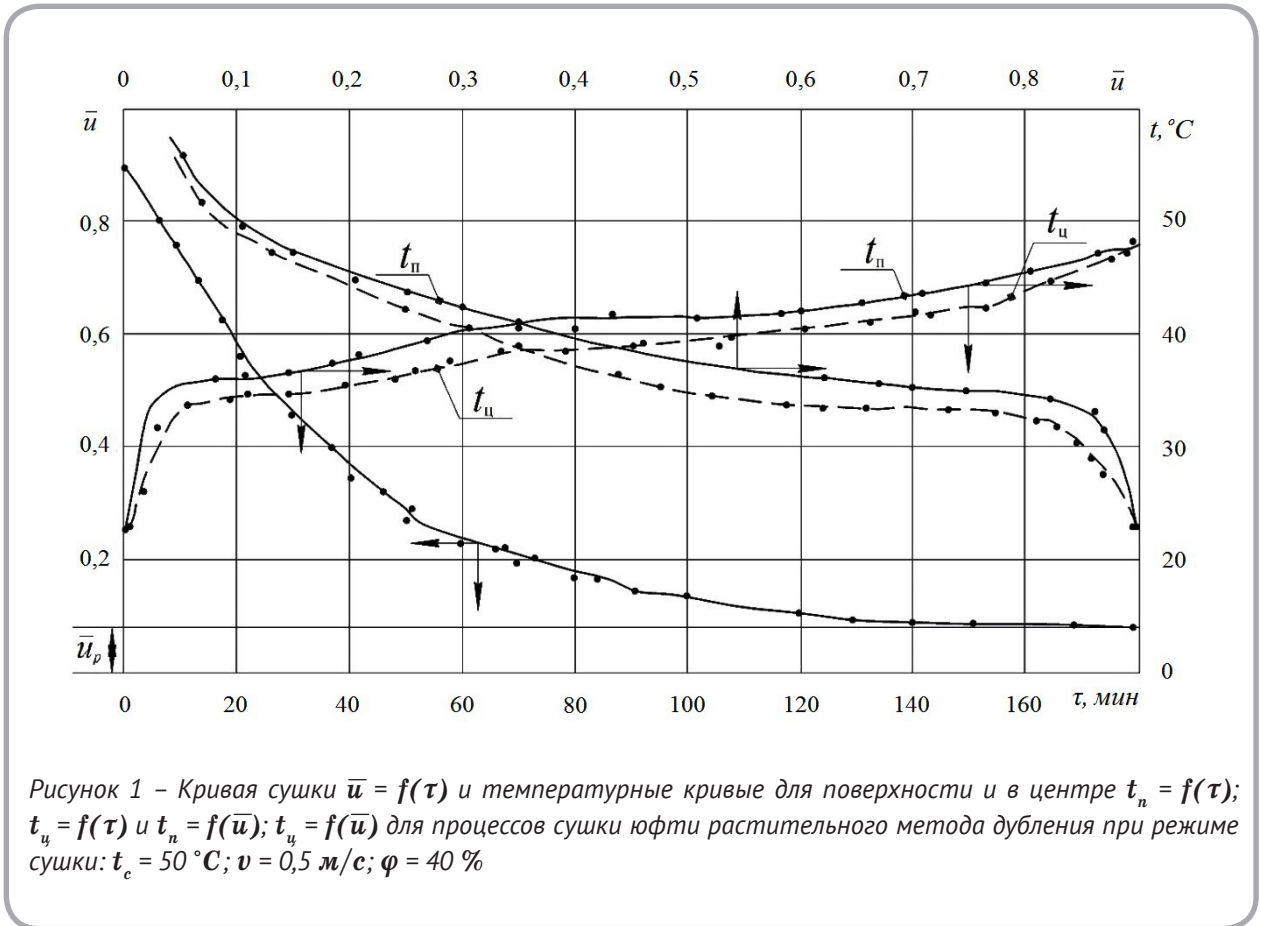
Для расчета кинетики сушки представляют интерес приближенные, достаточно надежные экспериментальные уравнения с минимальным количеством постоянных, определяемых опытным путем. Причем наибольший интерес представляют такие методы, которые основаны на наиболее общих закономерностях процесса

сушки и комплексных обобщенных переменных. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Известно несколько приближенных методов расчета кинетики сушки [1]. Рассмотрим метод расчета кинетики сушки, основанный на обработке и анализе большого числа экспериментов по сушке различных материалов с разными способами энергоподвода [1–7]. Исследование конвективной сушки комплексными переменными позволило разработать новый метод расчета кинетики тепломассообмена в процессах сушки натуральных кож.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

На рисунке 1 представлены типичные кривые сушки $\bar{u} = f(\tau)$ и температурные кривые $\bar{t} = f(\tau)$ для процессов сушки юфти растительного метода дубления. Видно, что при мягких режимах сушки наблюдаются периоды постоянной скорости сушки с периодами постоянной температуры на уровне температуры мокрого термометра t_m до критического влагосодержания $\bar{u}_{кр}$.



Обработка многих опытных данных [4, 8] показала, что с достаточной точностью плотность потока тепла в периоде убывающей скорости сушки изменяется во времени по экспоненциальному закону:

$$q^* = \frac{q_{II}}{q_I} \exp\left(-m \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right), \quad (1)$$

где $q^*(\tau)$ – отношение потока тепла в периоде падающей скорости (второй период) q_{II} к потоку тепла в периоде постоянной скорости (первый период) q_I ; τ_{II}/τ_I – отношение времени сушки в этих периодах.

Связь между обобщенными переменными τ_{II}/τ_I и $\bar{u}/\bar{u}_{кр}$ устанавливается зависимостью, изображенной на рисунке 2. Зависимость аппроксимируется линейным уравнением

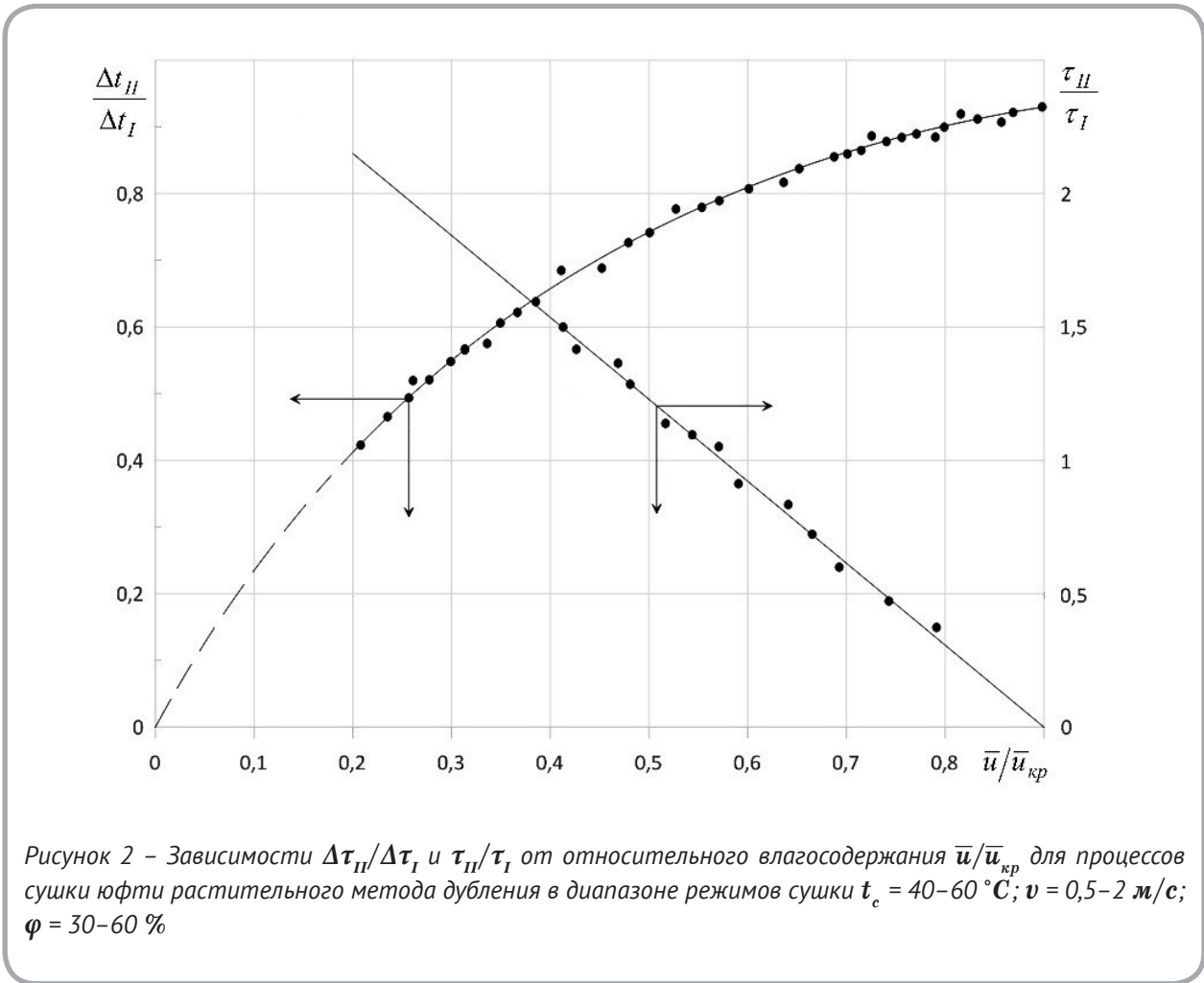
$$\frac{\tau_{II}}{\tau_I} = \frac{0,6}{\bar{u}/\bar{u}_{кр}}. \quad (2)$$

Плотность потока тепла в периоде постоянной скорости сушки определяется по формуле [1, 2]

$$q_I = r\rho_0 R_V N, \quad \text{Вт/м}^2, \quad (3)$$

где r – теплота парообразования, ρ_0 – плотность сухого материала, $R_V = V/F = \delta$ – толщина материала, определяемая как отношение объема тела к площади его поверхности, N – скорость сушки в первом периоде.

Плотность потока тепла в периоде убывающей скорости сушки



$$q_{II} = q_I \exp\left(-m \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right). \quad (4)$$

Интенсивность испарения влаги с поверхности влажного тела в первом периоде сушки

$$j_I = \frac{q_I}{r} = \frac{r \rho_0 R_V N}{r} = \rho_0 R_V N. \quad (5)$$

Интенсивность испарения влаги во втором периоде сушки

$$j_{II} = \frac{q_{II}}{r} = \rho_0 R_V N \exp\left(-m \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right) = j_I \exp\left(-m \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right),$$

$$j_{II} = j_I \exp\left(-0,6 \frac{m}{\bar{u}/\bar{u}_{кр}}\right). \quad (6)$$

Основное уравнение кинетики сушки, устанавливающее взаимосвязь между теплообменом q^* и влагообменом N^* [1, 6] имеет вид

$$q^* = \frac{q_{II}}{q_I} = N^* (1 + Rb), \quad (7)$$

где N^* – относительная скорость сушки для второго периода,

$$N^* = \frac{1}{N} \cdot \frac{d\bar{u}}{d\tau}; \quad (8)$$

где Rb – число Ребиндера, устанавливающее связь между теплообменом и влагообменом при сушке. При мягких режимах сушки натуральной кожи число Ребиндера принимает максимальные значения при $\bar{u} \rightarrow \bar{u}_p Rb \approx 0,15$ [9] и этими значениями можно пренебречь.

Если пренебречь числом Rb при малых его значениях, получаем

$$N^* = \exp\left(-m \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right). \quad (9)$$

Постоянная m является линейной функцией

отношения влагосодержаний $\bar{u}_0/\bar{u}_{кр}$, для всех видов натуральных кож не зависит от режима сушки, и определяется уравнением

$$m = 0,42 \frac{\bar{u}_0}{\bar{u}_{кр}}. \quad (10)$$

На рисунке 3 представлена зависимость постоянной $m = f(\bar{u}_0/\bar{u}_{кр})$ для различных натуральных кож в диапазоне изменения режимов сушки: $t_c = 40-60^\circ\text{C}$, $v = 0,5-2 \text{ м/с}$, $\varphi = 30-60\%$.

Скорость сушки во втором периоде из (9)

$$-\frac{d\bar{u}}{d\tau} = N \exp\left(-m \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right). \quad (11)$$

Интегрирование уравнения (11) дает [5]

$$-(\bar{u}_{кр} - \bar{u}) = N \frac{\tau_I}{m} \left(\exp\left(\frac{m}{\tau_I} \tau_{II} - 1\right) \right), \quad (12)$$

где N – скорость сушки в первом периоде, \bar{u} – текущее влагосодержание материала.

После преобразований получаем длительность сушки во втором периоде [5]

$$\tau_{II} = -\frac{\tau_I}{m} \ln\left(1 - \frac{\bar{u}_{кр} - \bar{u}}{N \tau_I} m\right). \quad (13)$$

Время сушки в первом периоде:

$$\tau_I = \frac{\bar{u}_0 - \bar{u}_{кр}}{N}, \quad (14)$$

где \bar{u}_0 и $\bar{u}_{кр}$ – начальное и критическое влагосодержание материала.

Продолжительность сушки до любого заданного значения текущего влагосодержания равна [5]

$$\tau = \tau_I + \tau_{II} = \frac{\bar{u}_0 - \bar{u}_{кр}}{N} \left(1 - \frac{1}{m} \ln\left(1 - \frac{\bar{u}_{кр} - \bar{u}}{\bar{u}_0 - \bar{u}_{кр}} m\right) \right). \quad (15)$$

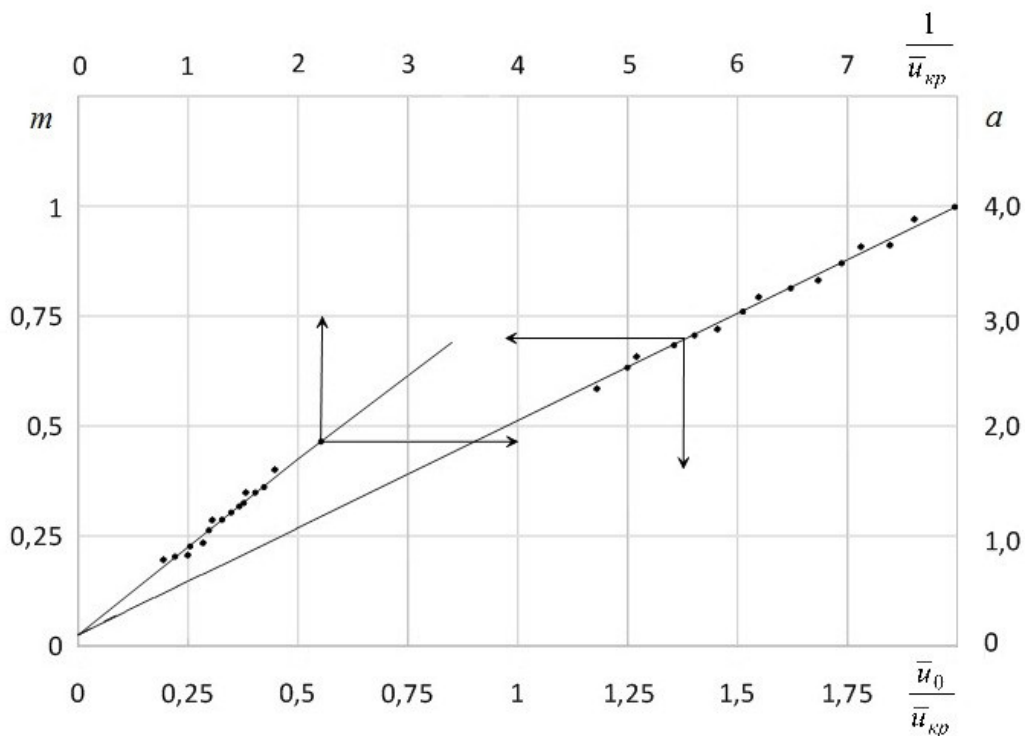


Рисунок 3 – Зависимости постоянной m от отношения влажностей $\bar{u}_0/\bar{u}_{кр}$ и коэффициента a от отношения $1/\bar{u}_{кр}$ для режимов сушки различных видов кож: $t_c = 40-60\text{ }^\circ\text{C}$, $v = 0,5-2\text{ м/с}$, $\varphi = 30-60\text{ \%}$

Рассмотрим метод, основанный на использовании относительной скорости сушки N^* и обобщенного времени N_τ [6]. Величина N^* не зависит от режима сушки и для конкретного материала будет функцией только влажосодержания \bar{u} . Это положение является следствием, вытекающим из метода обобщения кривых сушки [1, 2, 4, 6]. Устойчивая комплексная переменная N_τ , характерная для сушки, позволяет перейти от единичного конкретного режима к множеству других режимов сушки [4], что значительно сокращает число экспериментов и уменьшает объем расчетной работы.

Из метода обобщения кривых сушки следует, что обобщенное время N_τ , как и относительная скорость сушки N^* , является функцией влажосодержания \bar{u} и можно записать: $N^* = f(\bar{u})$, $N_\tau = f(\bar{u})$ и, следовательно, $N^* = f(N_\tau)$ [6].

Поскольку относительная скорость сушки N^* изменяется от влажосодержания по экспоненциальной зависимости, то целесообразно проводить обработку эксперимента для зависимости

$N^* = f(N_\tau)$ в виде уравнения

$$N^* = \frac{1}{N} \cdot \frac{d\bar{u}}{d\tau} = \exp(-aN\tau_{II}) \quad (16)$$

где a – постоянная, определяемая опытным путем. Можно записать

$$\left| \frac{d\bar{u}}{d\tau} \right| = N \exp(-aN\tau_{II}) \quad (17)$$

Интегрирование (17) дает длительность сушки во втором периоде [6]

$$\tau_{II} = -\frac{1}{aN} \ln(1 - a(\bar{u}_{кр} - \bar{u})) \quad (18)$$

С учетом времени сушки в первом периоде имеем [6]

$$\tau = \tau_I + \tau_{II} = \frac{1}{N} \left((\bar{u}_0 - \bar{u}_{кр}) - \frac{1}{\alpha} \ln(1 - \alpha(\bar{u}_{кр} - \bar{u})) \right). \quad (19)$$

На рисунке 3 дана зависимость коэффициента $\alpha = f(1/\bar{u}_{кр})$ для натуральных кож, которая аппроксимируется уравнением [6]

$$\alpha = \frac{0,8}{\bar{u}_{кр}}. \quad (20)$$

Основное уравнение кинетики сушки (7) можно записать в виде [1]

$$q^* = \frac{q_{II}}{q_I} = \frac{\bar{\alpha}(t_c - \bar{t})}{\bar{\alpha}_{кр}(t_c - t_m)} = \frac{1}{N} \left| \frac{d\bar{u}}{d\tau} \right| (1 + Rb). \quad (21)$$

Скорость сушки:

$$\left| \frac{d\bar{u}}{d\tau} \right| = K(\bar{u} - u_p), \quad (22)$$

где коэффициент сушки K равен

$$K = \frac{N}{\bar{u}_{кр} - u_p}. \quad (23)$$

Отношение, характеризующее уменьшение коэффициента теплообмена α во втором периоде сушки [1–6], определяется соотношением

$$\frac{\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}_{кр}} = \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^n. \quad (24)$$

Пренебрегая числом Rb при малых его значениях и принимая в пределах допустимой погрешности $u_p \rightarrow 0$, получим

$$\frac{\Delta t_{II}}{\Delta t_I} = \frac{\bar{u}/\bar{u}_{кр}}{(\bar{u}/\bar{u}_{кр})^n} = \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^{1-n}. \quad (25)$$

Обработкой опытных данных по сушке различных натуральных кож получено значение по-

стоянной $n = 0,65$ [9].

С учетом равновесного влагосодержания u_p уравнение (25) при $\bar{u} < \bar{u}_{кр}$ можно записать в виде

$$\bar{t} = t_c - (t_c - t_m) \cdot \left(\frac{\bar{u} - u_p}{\bar{u}_{кр} - u_p} \right)^{0,35}, \quad (26)$$

где \bar{t} – средняя по объему температура материала во втором периоде сушки.

Температура материала во втором периоде изменяется по экспоненциальной зависимости и скорость нагревания влажного тела $d\bar{t}/d\tau$ можно приближенно представить в виде уравнения [10]

$$\frac{d\bar{t}}{d\tau} = A_0 \exp\left(-m_0 \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right), \quad (27)$$

где отношение τ_{II}/τ_I является обобщенной переменной сушки. Для постоянной A_0 при конвективной сушке натуральных кож обработкой данных получено соотношение [10]

$$A_0 = 10^{-3} \exp(0,1t_c). \quad (28)$$

Скорость нагревания тела $d\bar{t}/d\tau$ определяется графическим дифференцированием температурной кривой $\bar{t} = f(\tau)$ [1].

Значение постоянной m_0 в (27) совпадает со значением m в (1) и определяется формулой (10).

Запишем уравнение (27) в следующем виде:

$$\int_{\bar{t}}^{t_c} dt = A_0 \int_{\tau}^{\tau=0} \exp\left(-m_0 \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right) d\tau. \quad (29)$$

Интегрируя (29), получим выражение для среднеобъемной температуры материала для второго периода сушки [10]

$$\bar{t} = t_c - \frac{A_0 \tau_I}{m_0} \exp\left(1 - m_0 \frac{\tau_{II}}{\tau_I}\right). \quad (30)$$

Подставляя время сушки в первом периоде (14), получим

$$\bar{t} = t_c - \frac{A_0}{N} \cdot \frac{\bar{u}_0 - \bar{u}_{кр}}{m_0} \exp\left(1 - m_0 N \frac{\tau_{II}}{\bar{u}_0 - \bar{u}_{кр}}\right). \quad (31)$$

Время сушки во втором периоде можно с достаточной точностью определить, применяя линейную аппроксимацию для зависимости [1]

$$-\frac{d\bar{u}}{d\tau} = K(\bar{u} - u_p). \quad (32)$$

Интегрируя от $\bar{u}_{кр}$ до \bar{u} и τ от 0 до τ_{II} уравнение (32), получим

$$\tau_{II} = \frac{1}{K} \ln \frac{\bar{u}_{кр} - u_p}{\bar{u} - u_p}. \quad (33)$$

С учетом (23) уравнение (33) принимает вид

$$\tau_{II} = \frac{\bar{u}_{кр} - u_p}{N} \ln \frac{\bar{u}_{кр} - u_p}{\bar{u} - u_p}. \quad (34)$$

Между комплексными переменными $\Delta t_{II}/\Delta t_I$ и $\bar{u}/\bar{u}_{кр}$ должна существовать нелинейная связь, поскольку и кривая сушки и температурная кривая представляют собой экспоненты.

Обработкой экспериментов при сушке юфти растительного метода дубления получена зависимость, представленная на рисунке 4, которая описывается уравнением [9] без учета равновесного влагосодержания u_p

$$\frac{\Delta t_{II}}{\Delta t_I} = \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}}\right)^{0,45}. \quad (35)$$

Среднеинтегральная температура в периоде падающей скорости сушки определяется выражением

$$\bar{t} = t_c - (t_c - t_M) \cdot \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}}\right)^{0,45}. \quad (36)$$

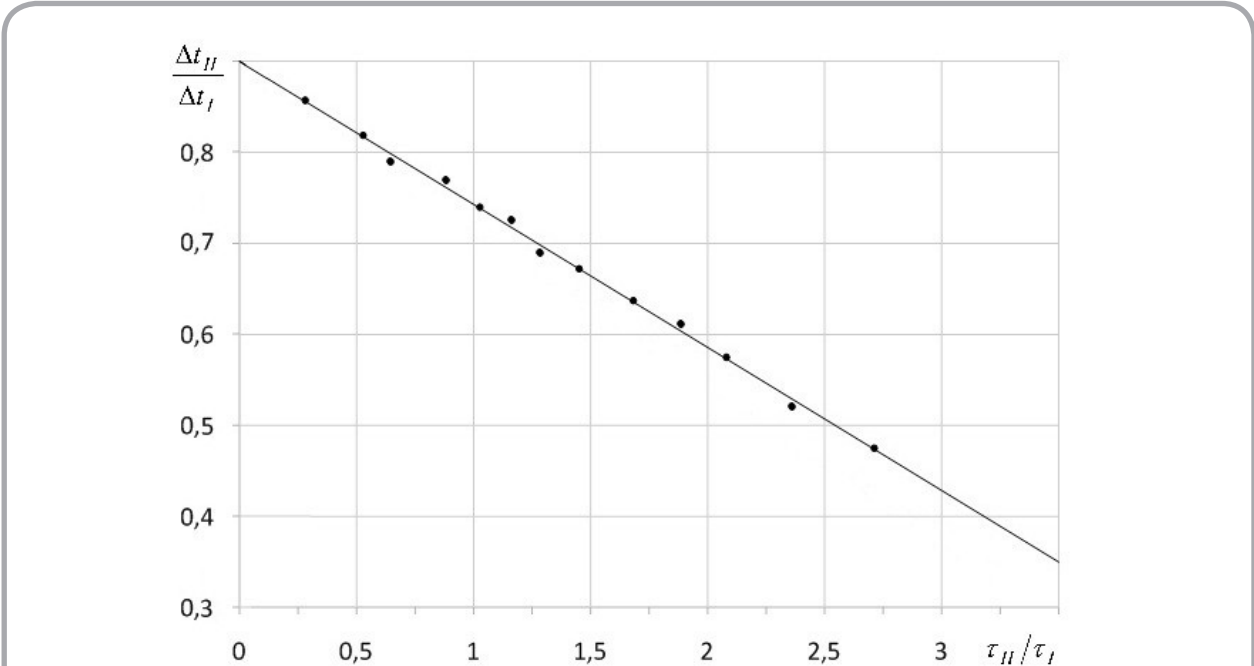


Рисунок 4 – Зависимость $\Delta t_{II}/\Delta t_I$ от отношения τ_{II}/τ_I для конвективной сушки юфти растительного метода дубления и рантовой подошвы в границах режимов сушки: $t_c = 40-60 \text{ }^\circ\text{C}$; $v = 0,5-2 \text{ м/с}$; $\varphi = 30-60 \text{ \%}$

Связь между переменными $\Delta t_{II}/\Delta t_I$ и t_{II}/t_I , как показала обработка данных по сушке юфти растительного метода дубления и рантовой подошвы, оказалась линейной (рисунок 4) и описывается приближенным уравнением

$$\frac{\Delta t_{II}}{\Delta t_I} = 0,98 - 0,22 \frac{\tau_{II}}{\tau_I} \quad (37)$$

Температура во втором периоде сушки равна

$$\bar{t} = t_c - (t_c - t_M) \cdot \Phi \quad (38)$$

где

$$\Phi = 0,98 - 0,22 \frac{\tau_{II}}{\tau_I} \quad (39)$$

В таблице 1 приведено сопоставление расчетных значений параметров кинетики сушки с экспериментальными и проверка достоверности полученных опытным путем уравнений. Видно, что разброс значений находится в пределах допустимой погрешности эксперимента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обработкой опытных данных по конвективной сушке натуральных кож обобщенными комплексными переменными получены приближенные, достаточно надежные экспериментальные уравнения для расчета основных параметров кинетики сушки.

Таблица 1 – Сопоставление экспериментальных значений с расчетными, полученными по формулам для процесса сушки юфти растительного метода дубления

Юфть растительного метода дубления; пластина 200×150×2,1 мм; $\rho_0 = 560 \text{ кг/м}^3$.
Режим сушки: $t_c = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; $v = 0,5 \text{ м/с}$; $\varphi = 40 \text{ \%}$; $\bar{u}_0 = 0,97$; $\bar{u}_{кр} = 0,63$; $u_p = 0,12$; $N = 0,0048 \text{ мин}^{-1}$.

\bar{u}	τ , мин экс.	τ , мин (15)	τ , мин (19)	\bar{t} , $^\circ\text{C}$ экс.	\bar{t} , $^\circ\text{C}$ (26)	\bar{t} , $^\circ\text{C}$ (31)	\bar{t} , $^\circ\text{C}$ (38)	q , Вт/м^2 (1)
0,7	70	73	73	34,0	34,0	34,0	34,0	236
0,5	98	98	101	35,5	35,6	35,8	36,2	165
0,4	132	133	129	37,0	37,0	37,5	37,2	139
0,3	160	164	162	38,5	38,5	38,5	38,6	110
0,2	220	225	216	41,5	41,5	42,3	41,0	75

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лыков, А. В. (1968), *Теория сушки*, Москва, 472 с.
2. Васильев, В. Н., Куцакова, В. Е., Фролов, С. В. (2013), *Технология сушки. Основы тепло- и массопереноса*, Санкт-Петербург, 224 с.
3. Кавказов, Ю. Л. (1973), *Тепло- и массообмен в технологии кожи и обуви*, Москва, 272 с.
4. Красников, В. В. (1973), *Кондуктивная сушка*,

REFERENCES

1. Lykov, A. V. (1968), *Teorija sushki* [Drying theory]. Moscow, 472 p.
2. Vasilyev, V. N., Kutsakova, V. E., Frolov, S. V. (2013), *Technologija sushki. Osnovy teplo- i massoperenosa* [Drying technology. Basics of heat and mass transfer]. Saint-Petersburg, 224 p.
3. Kavkazov, Yu. L. (1973), *Teplo- i massoobmen v tehnologii kozhi i obuvi* [Heat and mass transfer

Москва, 286 с.

5. Куц, П. С., Ольшанский, А. И. (1977), Некоторые закономерности теплообмена и приближенные методы расчета кинетики процесса сушки влажных материалов, *Инженерно-физический журнал*, 1977, Т. 23, № 6, С. 1007–1014.
6. Ольшанский, А. И., Куц, П. С. (1977), Некоторые закономерности кинетики сушки пищевых продуктов, *Известия вузов, Пищевая технология*, 1977, № 5, С. 97–101.
7. Комиссаров, С. А., Комиссаров, А. С., Витрук, Н. С., Комиссарова, Е. С. (2002), Высокоэффективный способ сушки меха и кожи, *Кожевенно-обувная промышленность*, 2002, № 2, С. 20–21.
8. Натареев, О. С., Кокина, Н. Р., Натареев, С. В. (2015), Теплоперенос в процессе конвективной сушки влажного материала, *Известия вузов, Химия и химическая технология*, 2015, № 2, С. 65–70.
9. Ольшанский, А. И., Климентьев, А. Л. (2018), Исследование кинетики конвективной сушки натуральных кож, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2018, № 1 (34), С. 49–62.
10. Ольшанский, А. И. (2014), Исследование теплообмена в процессе сушки влажных материалов по экспериментальным данным влагообмена, *Инженерно-физический журнал*, 2014, Т. 87, № 4, С. 887–897.
4. Krasnikov, V. V. (1973), *Konduktivnaja sushka* [Conductive drying], Moscow, 288 p.
5. Kuts, P. S., Alshanski, A. I. (1977), Some features of heat and moisture transfer and approximate methods of calculating the drying kinetics of moist materials [Nekotorye zakonomernosti teplovlagoobmena i priblizhennyye metody rascheta kinetiki processa sushki vlazhnyh materialov], *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal – Journal of Engineering Physics*, 1977, V. 23, № 6, pp. 1007–1014.
6. Alshanski, A. I., Kuts, P. S. (1977), Some features of kinetics of drying food products [Nekotorye zakonomernosti kinetiki sushki pishhevyyh produktov], *Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija – News of institutes of higher education. Food technology*, 1977, № 5, pp. 97–101.
7. Komissarov, S. A., Komissarov, A. S., Vitruk, N. S., Komissarova, E. S. (2002), Highly effective method of drying fur and leather [Vysokoeffektivnyj sposob sushki meha i kozhi], *Kozhevenno-obuvnaja promyshlennost – Leather and footwear industry*, 2002, № 2, pp. 20–21.
8. Natareev, O. S., Kokina, N. R., Natareev, S. V. (2015), Heat transfer in the process convective drying of wet material [Teploperenos v processe konvektivnoj sushki vlazhnogo materiala], *Izvestija vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija – News of institutes of higher education. Chemistry and chemical technology*, 2015, № 2, pp. 65–70.
9. Alshanski, A. I., Klimentyev, A. L. (2018), Examination of Kinetics of Natural Leathers Convective Drying [Issledovanie kinetiki konvektivnoj sushki natural'nyh kozh], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologi-cheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2018, № 1(34), pp. 49–62.
10. Alshanski, A. I. (2014), Study of the heat transfer in the technology of leather and shoes], Moscow, 272 p.

in the process of drying of moist materials from experimental data on moisture transfer [Issledovanie teploobmena v processe sushki vlazhnyh materialov po jeksperimental'nym dannym vlagoobmena], *Inzhe-nerno-fizicheskij zhurnal – Journal of Engineering Physics*, 2014, V. 87, № 4, pp. 887–897.

Статья поступила в редакцию 18. 06. 2019 г.