

РАСЧЕТ КИНЕТИКИ СУШКИ НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ

Дрюков В. В., к.т.н., доц., Котов А. А., асс., Кузьменков С. М., асс.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. Изложен способ расчета кинетики сушки, основанный на уравнении кинетики А. В. Лыкова и кривых скорости сушки для процесса сушки натуральной кожи. В результате обработки опытных данных по сушке натуральных кож определены уравнения по вычислению интенсивности испарения влаги и температуры материала в периоде падающей скорости сушки. Предложенные приближенные методы расчета кривой скорости сушки кожи позволяют оценить характер протекания процесса сушки конкретного материала при изменении режима сушки.

Ключевые слова: влагосодержание, коэффициент сушки, время сушки, температура мокрого термометра, скорость сушки.

Сушка натуральных кож является не только теплофизическим, но также и важным технологическим процессом, при котором этот материал приобретает необходимые качества промышленной кожи [1–3].

Натуральные кожи – термочувствительные материалы, поэтому процессы сушки кожи проводятся при определенных условиях: при мягком температурном режиме воздуха $t_c = 30\div 60$ °С, высоком влагосодержании среды $\varphi = 30\div 80$ % и скорости воздушного потока $v = 0,5\div 1,5$ м/с. Основным препятствием для быстрой интенсивной сушки считается значительная усадка, приводящая к короблению материала [1–3].

Под кинетикой сушки понимают изменение среднего по объему материала влагосодержания \bar{u} (τ) и средней температуры \bar{t} (\bar{u}) с течением времени τ . Закономерности кинетики процесса сушки дают возможность рассчитать количество испаренной влаги, расход теплоты на сушку и описать действительный процесс массотеплообмена при взаимодействии поверхности влажного тела с окружающей средой. Кинетика сушки позволяет исследовать основные закономерности сушки и дать для инженерных расчетов приближенные уравнения для определения длительности сушки τ и температуры материала \bar{t} .

Основной задачей исследования кинетики сушки является определение длительности процесса и температуры материала, поскольку эти параметры определяют качество подвергающегося сушке материала и размеры сушильной камеры. Аналитический путь решения этой задачи чрезвычайно сложен и не всегда возможен. В силу этих трудностей необходимо прибегать к экспериментальным исследованиям с целью разработки приближенных зависимостей для расчета основных параметров кинетики сушки с минимальным числом постоянных, определяемых опытным путем [1–3].

Чтобы установить основные кинетические зависимости для расчета процесса сушки натуральной кожи, воспользуемся при обработке опытных данных уравнением кинетики сушки А. В. Лыкова и действительными кривыми скорости сушки кожи, полученными графическим дифференцированием кривых сушки.

Основное уравнение кинетики сушки может быть записано в виде [1]

$$q_{II} / q_I = N^* (I + Rb) . \quad (1)$$

Здесь q_I – плотность потока теплоты в периоде постоянной скорости сушки (первый период, $q_I = r \cdot \rho \cdot R_v \cdot N$, где r – теплота парообразования, ρ – плотность, $R_v = V/F$ – отношение объема тела к поверхности, N – скорость сушки в первом периоде); q_{II} – плотность потока тепла в периоде падающей скорости (второй период); N^* – относительная скорость сушки; Rb – число Ребиндера, устанавливающее связь между теплообменом и влагообменом.

В процессе сушки тонких тел, таких как кожа, при мягких режимах сушки расход теплоты на нагревание влажного тела значительно меньше расхода тепла на испарение из него влаги, и число $Rb \ll 1$. Экспериментально установлено, что при конвективной сушке натуральной кожи максимальные величины числа $Rb \approx 0,1\div 0,15$ при $\bar{u} \rightarrow u_p$ (где u_p – равновесное влагосодержание

материала) [2, 3]. Пренебрегая величиной числа Rb , при малых его значениях запишем

$$q_{II} = q_I \cdot N^* = r \cdot \rho \cdot R_v \cdot N \cdot N^* \quad (2)$$

Относительная скорость сушки N^* – обобщенный комплексный параметр, не зависящий от режима сушки и являющийся лишь функцией влагосодержания материала:

$$N^* = \frac{1}{N} \cdot \left| \frac{d\bar{u}}{d\tau} \right|$$

Скорость сушки [1–3] равна

$$\left| \frac{d\bar{u}}{d\tau} \right| = K \cdot (\bar{u} - u_p) \quad (3)$$

где коэффициент сушки K зависит от вида материала и режима сушки. Решение уравнения (3) показывает, что кривая сушки является убывающей экспонентой.

В действительности кривые сушки материалов представляют две или три (в случае сушки натуральной кожи) сопряженные экспоненты. Интенсивность испарения влаги в единицу времени с единицы поверхности влажного тела во втором периоде сушки также изменяется с течением времени по экспоненциальному закону [1, 3]:

$$j_{II} = j_I \cdot \exp(-K \cdot \tau_{II}), \quad (4)$$

где j_I – интенсивность испарения влаги в первом периоде сушки ($j_I = \rho \cdot R_v \cdot N$).

При этом интенсивность испарения влаги ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$) во втором периоде сушки можно определить по более простой зависимости:

$$j_{II} = q_{II} / r = \rho \cdot R_v \cdot N \cdot N^* \quad (5)$$

Зависимости скорости сушки $|d\bar{u}/d\tau| = f(\tau)$ во втором периоде имеют сложный вид. Выбор уравнения, аппроксимирующего действительную кривую скорости сушки, определяется конкретными условиями и типом кривой скорости.

А. В. Лыковым был предложен метод расчета кривой скорости сушки, когда действительная кривая скорости заменяется прямой и применяется линейная аппроксимация для зависимости (3) при постоянной величине коэффициента сушки $K = \text{const}$ [1]. В соответствии с уравнением спрямляющей прямой, интегрируя уравнение (3) при начальных условиях $\bar{u} = \bar{u}_{сп1}$ и $\tau = 0$, длительность сушки (в минутах) во втором периоде равна

$$\tau_{II} = \frac{1}{K} \cdot \ln \frac{\bar{u} - u_p}{\bar{u}_{сп1} - u_p}, \quad (6)$$

где \bar{u} – текущее влагосодержание материала, $\bar{u}_{сп1}$ – влагосодержание при переходе первого периода сушки в период падающей скорости. Значения \bar{u}_p определяются режимом сушки.

В результате обработки и анализа более 20 кривых скорости сушки различных натуральных кож, приведенных в [1, 4], была получена графическая зависимость $N^* = f(\bar{u} / \bar{u}_{сп})$.

При конвективной сушке натуральной кожи при температурах $t_c = 40\text{--}60$ °С и высокой относительной влажности воздуха $\varphi = 30\text{--}80$ % необходимо учитывать равновесное влагосодержание ($u_p = 0,1\text{--}0,18$).

Среднеинтегральная температура в процессе сушки кожи равна

$$\bar{t} \approx t_c - (t_c - t_m) \cdot \left(\frac{\bar{u} - u_p}{\bar{u}_{сп} - u_p} \right)^{0,4}, \quad (7)$$

С учетом

$$N^* \approx \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{сп}} \right)^{1,05}, \quad (8)$$

среднеинтегральная температура материала определяется зависимостью

$$\bar{t} \approx t_c - (t_c - t_m) N^{0,43}. \quad (9)$$

Таким образом, уравнения кинетики сушки позволяют получить основные формулы для расчета кинетики сушки натуральной кожи, выявить общую закономерность протекания процесса сушки при различных методах аппроксимации действительной кривой скорости сушки.

Полученные приближительные уравнения дают возможность оценить протекание процесса сушки при изменении режима и определить главные кинетические характеристики – время сушки и температуру материала в периоде падающей скорости. Приближенные уравнения, полученные на основе обработки действительных кривых скорости сушки, имеют практическое значение при расчетах кинетики сушки и позволяют оценить количественные изменения, вызванные изменением режима сушки.

Список использованных источников

1. Лыков, А. В. Теория сушки. – Москва, 1968. – 590 с.
2. Ольшанский, А. И., Климентьев, А. Л. Кинетика теплообмена и метод расчета длительности конвективной сушки натуральной кожи // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук, 2020. – Т. 65, № 4. – С. 464–475.
3. Ольшанский, А. И., Климентьев, А. Л., Петренко В. В. Исследование кинетики конвективной сушки натуральных кож // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2018. – № 1 (34). – С. 49–62.
4. Кавказов, Ю. Л. Тепло- и массообмен в технологии кожи и обуви. – Москва, 1973. – 272 с.

УДК 536.212.3

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ В СТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

*Рудаков С.А., асп., Ольшанский В.И., к.т.н., проф.
Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрены методы исследования теплофизических характеристик при стационарных условиях. Исследование теплоизоляционных материалов необходимо для определения характеристик образцов для применения их в определенных условиях и для использования его в соответствии с нормативно-правовыми документами.

Ключевые слова: теплофизические исследования, стационарные условия, теплоизоляционные материалы, методы исследования.

Необходимость сохранения тепловой и электрической энергии является актуальной проблемой на протяжении всей истории человечества. В древние времена люди благодаря изолированию своих жилищ смогли выжить в суровых погодных условиях. В настоящее время использование теплоизоляции играет важную роль во многих сферах жизни, и необходимо для экономии электрической энергии и топливно-энергетических ресурсов.

Появление новых теплоизоляционных материалов требует научного и технического подхода к изучению теплофизических свойств полученных материалов.

Существует несколько методов определения теплофизических характеристик твердых неметаллических материалов в стационарном режиме:

- метод теплопроводности;
- метод теплоемкости;
- метод теплоотдачи;
- метод термогравиметрии.

Метод теплопроводности основан на измерении теплопроводности материала. Он может быть реализован с использованием теплового потока, который пропускается через образец,