

ISSN 1561-8358 (Print)

ISSN 2524-244X (Online)

<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2026-71-2-141-148>

УДК 66.047.7



Оригинальная статья

А. И. Ольшанский, А. А. Котов, С. М. Кузьменков*

*Витебский государственный технологический университет,
Московский пр., 72, 210038, Витебск, Республика Беларусь*

**КОНВЕКТИВНАЯ СУШКА ТОНКИХ ВЛАЖНЫХ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Аннотация. Изложен метод расчета процесса сушки тонких плоских материалов на основе уравнения кинетики сушки, устанавливающий связь между величинами, определяющими теплообмен по коэффициенту теплоотдачи и влагообмен по относительной скорости сушки. На основе уравнения кинетики сушки по данным влагообмена полностью описывается процесс теплообмена. Рассмотрен экспериментальный метод расчета температуры материала в период падающей скорости сушки для пористой керамики, листового асбеста и шерстяного войлока. Дана зависимость относительной скорости сушки от относительного влагосодержания и экспериментальный метод расчета коэффициента теплоотдачи для периода падающей скорости сушки. Предложен способ определения скорости сушки в периоды постоянной скорости и относительной скорости сушки. Представлены уравнения для расчета интенсивности сушки и плотности тепловых потоков. Дано сопоставление расчетных значений параметров сушки по полученным формулам с экспериментальными для сушки керамики, асбеста и войлока. Методы обработки опытных данных и полученные формулы имеют практическое значение для расчета кинетики сушки различных влажных материалов.

Ключевые слова: кинетика сушки, коэффициент теплоотдачи, относительная скорость сушки, относительное влагосодержание, температура

Благодарности: авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории теплофизических измерений Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси за помощь в проведении исследования.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах: *Ольшанский Анатолий Иосифович* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплоэнергетика» Витебского государственного технологического университета, <https://orcid.org/0009-0009-0000-6799>; *Котов Алексей Анатольевич* – ассистент кафедры «Теплоэнергетика» Витебского государственного технологического университета, e-mail: tm@vstu.by; *Кузьменков Сергей Михайлович* – ассистент кафедры «Технология машиностроения» Витебского государственного технологического университета, e-mail: tm@vstu.by

Вклад авторов: *Ольшанский Анатолий Иосифович* – сбор и анализ литературных данных, вывод зависимостей, проведение вычислений, написание текста рукописи, обсуждение результатов и выводов; *Котов Алексей Анатольевич* – работа с графическим материалом, оформление, редактирование текста рукописи, обсуждение результатов и выводов; *Кузьменков Сергей Михайлович* – редактирование текста рукописи, обсуждение результатов и выводов.

Для цитирования: Ольшанский, А. И. Конвективная сушка тонких влажных теплоизоляционных материалов / А. И. Ольшанский, А. А. Котов, С. М. Кузьменков // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2026. – Т. 71, № 2. – С. 141–148. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2026-71-2-141-148>

Поступила в редакцию: 27.08.2024

Доработанный вариант: 05.09.2025, 31.03.2026

Утверждена к публикации: 04.06.2026

Подписана в печать: 15.06.2026

Original article

Anatoly I. Ol'shanskii, Alexej A. Kotow, Sergey M. Kuzmenkov*

Vitebsk State Technological University, 72, Moskovsky Ave., 210038, Vitebsk, Republic of Belarus

CONVECTIVE DRYING OF THIN WET HEAT-INSULATION MATERIALS

Abstract. The method of calculation of the drying process of thin flat materials on the basis of the equation of drying kinetics, which establishes the relationship between the values determining the heat exchange by the heat transfer coefficient and moisture exchange by the relative drying rate, is presented. On the basis of the drying kinetics equation, the heat

exchange process is fully described by moisture exchange data. An experimental method for calculating the material temperature during the period of falling drying rate for drying porous ceramics, sheet asbestos and woollen felt is considered. The dependence of relative drying rate on relative moisture content and an experimental method for calculating the heat transfer coefficient for the period of falling drying rate are given. A method for determining the drying rate from the value of drying rate during the period of constant rate and relative drying rate is proposed. Equations for calculating drying intensity and heat flux density are presented. Comparison of calculated values of drying parameters according to the obtained formulas with experimental ones for drying of ceramics, asbestos and felt is given. Experimental data processing methods and formulas obtained are of practical importance for calculating the kinetics of drying various wet materials.

Keywords: drying kinetics, heat transfer coefficient, relative drying rate, relative moisture content, temperature

Acknowledgments: the authors would like to thank the staff of the Laboratory of Thermophysical Measurements at the A. V. Luikov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus for their assistance in conducting the study.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Information about the authors: *Anatoly I. Ol'shanskii* – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor at the Department of Heat Power Engineering at Vitebsk State Technological University, <https://orcid.org/0009-0009-0000-6799>; *Alexej A. Kotow* – Assistant of the Department of Heat Power Engineering at Vitebsk State Technological University, e-mail: tm@vstu.by; *Sergey M. Kuzmenkov* – Assistant of the Department of Mechanical Engineering at Vitebsk State Technological University, e-mail: tm@vstu.by

Contribution of the authors: *Anatoly I. Ol'shanskii* – collection and analysis of literature data, derivation of dependencies, carrying out calculations, writing the text of the manuscript, discussion of results and conclusions; *Alexej A. Kotow* – work with graphic material, design, editing of the text of the manuscript, discussion of results and conclusions; *Sergey M. Kuzmenkov* – translation, editing of the text of the manuscript, discussion of results and conclusions.

For citation: Ol'shanskii A. I., Kotow A. A., Kuzmenkov S. M. Convective drying of thin wet heat-insulation materials. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2026, vol. 71, no. 2, pp. 141–148 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2026-71-2-141-148>

Received: 27.08.2024

Modified: 05.09.2025, 31.03.2026

Approved for publication: 04.06.2026

Signed to the press: 15.06.2026

Введение. Температура материала в процессе сушки является важнейшим параметром, отвечающим за качество готового продукта. Для описания кинетики сушки необходимо знать изменение среднеинтегральных характеристик влажного материала – влагосодержания и температуры с течением времени. Изменения средних значений влагосодержания и температуры определяются закономерностями взаимодействия поверхности влажного тела с окружающей средой [1; 2]. Сушка тонких капиллярно-пористых материалов протекает в условиях внешней задачи, когда скорость процесса слабо зависит от внутреннего сопротивления переносу и определяется только условиями внешнего теплового взаимодействия поверхности испарения материала с окружающей средой [1–9].

Для определения температуры в периоде падающей скорости сушки необходимо знать зависимость между влагосодержанием влажного тела и временем сушки [2; 4; 7–9], которую можно получить решением дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности. Однако решение такой задачи оказывается очень сложным в аналитическом отношении, поскольку коэффициенты теплообмена зависят от влагосодержания и температуры [2; 4; 6; 10; 11]. Поэтому для практического использования метода сушки представляют интерес экспериментальные, приближенные, достаточно простые и надежные уравнения, содержащие минимальное число постоянных, определяемых опытным путем [3; 8; 9; 11].

С этой целью были проведены экспериментальные исследования сушки подготовленных образцов тонких капиллярно-пористых материалов – пористой керамики, листового асбеста и строительного шерстяного войлока. Опыты проводились на конвективной сушильной установке с вынужденным движением теплоносителя (воздуха) в лаборатории теплофизических измерений Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. Установка позволяла регулировать заданный температурный режим в сушильной камере. Режимы сушки керамики, асбеста и войлока выбраны в соответствии с условиями сушки этих материалов в промышленности.

Цель исследования – используя уравнения кинетики сушки и результаты обработки опытных данных, получить приближенные простые уравнения для расчета основных кинетических характеристик сушки керамики, асбеста и войлока.

Материалы для исследования. Особенности процесса сушки тонких материалов, имеющих большую удельную поверхность, проявляются по характеру изменения влагосодержания ($\bar{u}$) и температуры ($\bar{t}$) с течением времени (τ). Для проведения исследования были подготовлены образцы материалов в виде пластин со следующими размерами: пористая керамика – $120 \times 80 \times 5$ мм, листовой асбест – $120 \times 80 \times 6$ мм и шерстяной войлок – $120 \times 80 \times 8$ мм.

На рис. 1 представлены кривая сушки $\bar{u} = f(\tau)$ и температурные кривые $\bar{t} = f(\tau)$ для сушки листового асбеста при следующем режиме: температура сушки $t_c = 120$ °С, скорость воздуха в сушильной камере $v = 5$ м/с.

При температурах $t = 90 \div 120$ °С сушка протекает при «мягких» режимах. Прогрев тонкого материала проходит за малый промежуток времени, а температура материала быстро повышается от начальной (t_0) до температуры мокрого термометра (t_m), практически равной температуре на поверхности материала (t_n). После стадии прогрева влагосодержание ($\bar{u}_{np}$) уменьшается по линейному закону до гигроскопического ($\bar{u}_{кр}$). Скорость сушки в этом периоде $d\bar{u}/d\tau = N$, величина постоянная – период постоянной скорости сушки (первый период сушки). Период постоянной скорости сушки является также и периодом постоянной температуры на уровне t_m .

При уменьшении влагосодержания $\bar{u} < \bar{u}_{кр}$ начинается период падающей скорости сушки (второй период) с непрерывным повышением температуры до температуры среды (t_c) при времени сушки $\tau \rightarrow \infty$ (см. рис. 1). Тонкие материалы с большой удельной поверхностью при «мягких» режимах сушки имеют незначительные перепады влагосодержания и градиентов температуры по сечению влажного тела [1–8].

Основное уравнение кинетики сушки [1–6] запишем в виде

$$\frac{q_{II}}{q_I} = \frac{\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}_{кр}} \cdot \frac{t_c - t_n}{t_c - t_m} = N^* (1 + Rb), \quad (1)$$

где q_I, q_{II} – плотности потока теплоты в первом и втором периодах сушки; $\bar{\alpha}, \bar{\alpha}_{кр}$ – коэффициенты теплоотдачи в первом и втором периодах сушки; Rb – число Ребиндера; N^* – относительная скорость сушки, определяемая по выражению

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

где N – скорость сушки в первом периоде.

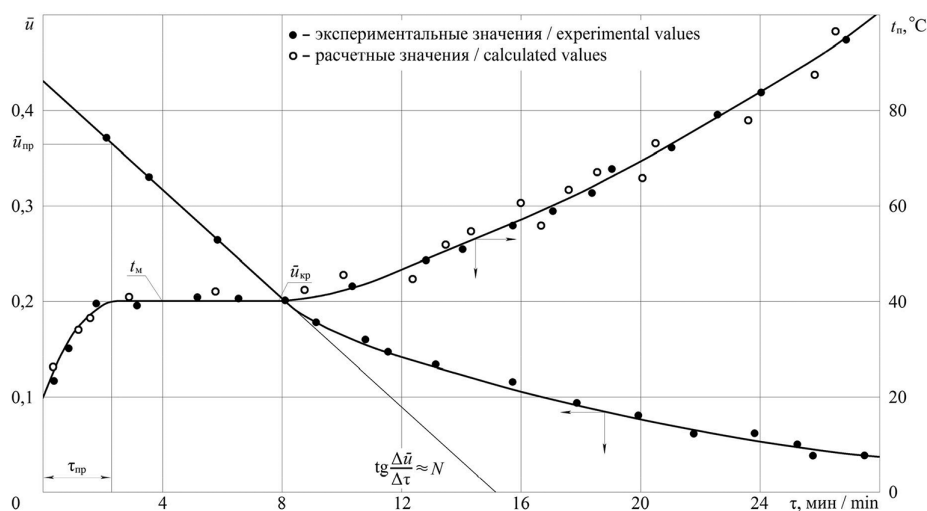


Рис. 1. Кривая сушки $\bar{u} = f(\tau)$ и температурная кривая $\bar{t} = f(\tau)$ в процессе сушки асбестовой пластины для режима сушки: температура $t_c = 120$ °С, скорость воздуха $v = 5$ м/с; $\bar{u}$ – изменение влагосодержания в течение времени τ , $\bar{u}_{np}$ – влагосодержание после прогрева, $\bar{u}_{кр}$ – гигроскопическое влагосодержание, t_m – температура мокрого термометра, t_{np} – время прогрева, N – скорость сушки в первом периоде

Fig. 1. Drying curve $\bar{u} = f(\tau)$ and temperature curve $\bar{t} = f(\tau)$ in the drying process of asbestos plate for drying mode: temperature $t_c = 120$ °С, air speed $v = 5$ m/s; $\bar{u}$ – change in moisture content over time τ , $\bar{u}_{np}$ – moisture content after heating, $\bar{u}_{кр}$ – hygroscopic moisture content, t_m – wet-bulb temperature, t_{np} – heating time, N – drying rate in the first period

При температуре материала $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ теплота парообразования $r \approx 2250\text{ кДж/кг}$, а удельная теплоемкость сухих материалов $c_0 \approx 0,8 \div 1,3\text{ кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$. Следовательно, расход тепла на нагрев влажного тела в процессе сушки от общего количества тепла составляет 4 %. Таким образом, практически вся теплота идет на испарение влаги из материала.

Пренебрегая величиной числа Rb при малых его значениях, уравнение (1) запишем следующим образом:

$$\frac{q_{II}}{q_I} = \frac{\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}_{кр}} \cdot \frac{\Delta t_{II}}{\Delta t_I} \approx N^*, \quad (2)$$

где $\Delta t_I, \Delta t_{II}$ – разности температур в первом и втором периодах сушки.

Экспериментально установлено, что коэффициент теплоотдачи $\bar{\alpha}$ является величиной постоянной только в периоде постоянной скорости сушки [1–6]. В периоде падающей скорости он непрерывно уменьшается, приближаясь к величине $\bar{\alpha}$ для сухого тела. П. Д. Лебедевым было предложено учитывать это уменьшение эмпирической формулой [1–9; 12]

$$\frac{\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}_{кр}} = \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^n, \quad (3)$$

где показатель степени n не зависит от режима сушки и для каждого материала определяется экспериментально.

Для расчета коэффициента теплоотдачи $\bar{\alpha}$ необходимы экспериментальные кривые сушки $\bar{u} = f(\tau)$, кривые скорости сушки $d\bar{u}/d\tau = f(\bar{u})$ и температурные кривые $\bar{t} = f(\bar{u})$ [8; 9; 12–14].

Постоянная n определяется из зависимости (3) по формуле

$$n \approx \frac{\lg \bar{\alpha}/\bar{\alpha}_{кр}}{\lg \bar{u}/\bar{u}_{кр}}. \quad (4)$$

На рис. 2 представлены кривые скорости сушки $d\bar{u}/d\tau = f(\bar{u})$ для сушки листового асбеста (а) и пористой керамики (б) для температуры сушки $t_c = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ при скорости воздуха $v = 3; 5$ и 10 м/с .

Результаты обработки опытных данных по уравнению (3) для сушки асбеста, войлока и керамики в температурном интервале $t_c = 90 \div 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ при скорости воздуха $v = 3; 5$ и 10 м/с показаны на рис. 3.

Из зависимости (4) по вычисленным значениям коэффициента теплоотдачи $\bar{\alpha}$ были получены следующие величины показателя степени n : для листового асбеста $n \approx 0,71$, для войлока $n \approx 0,68$, для керамики $n \approx 0,73$. Чтобы унифицировать и упростить расчеты по сушке керамики, асбеста и войлока, примем среднее значение $n \approx 0,70$.

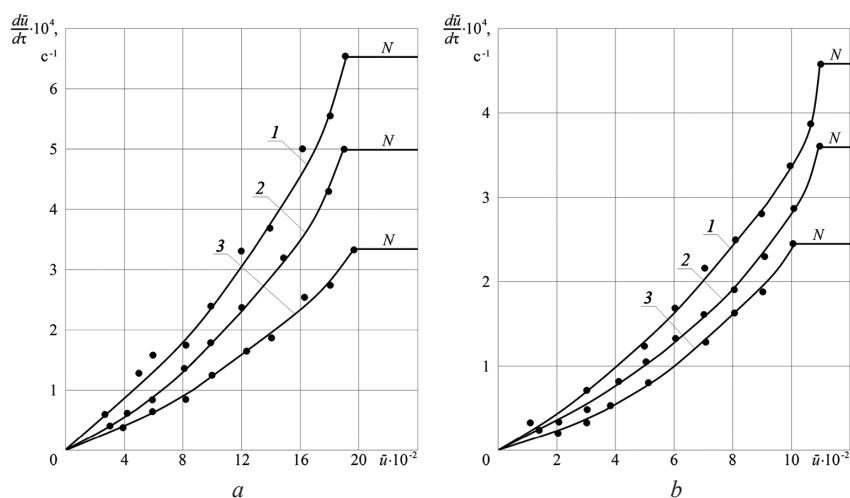


Рис. 2. Кривые скорости сушки для процессов сушки листового асбеста (а) и пористой керамики (б) для сушки $t_c = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ при скорости воздуха: 1 – 3 м/с; 2 – 5 м/с; 3 – 10 м/с

Fig. 2. Drying rate curves for drying processes of sheet asbestos (a) and porous ceramics (b) for drying temperature $t_c = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ at air velocity: 1 – 3 м/с; 2 – 5 м/с; 3 – 10 м/с

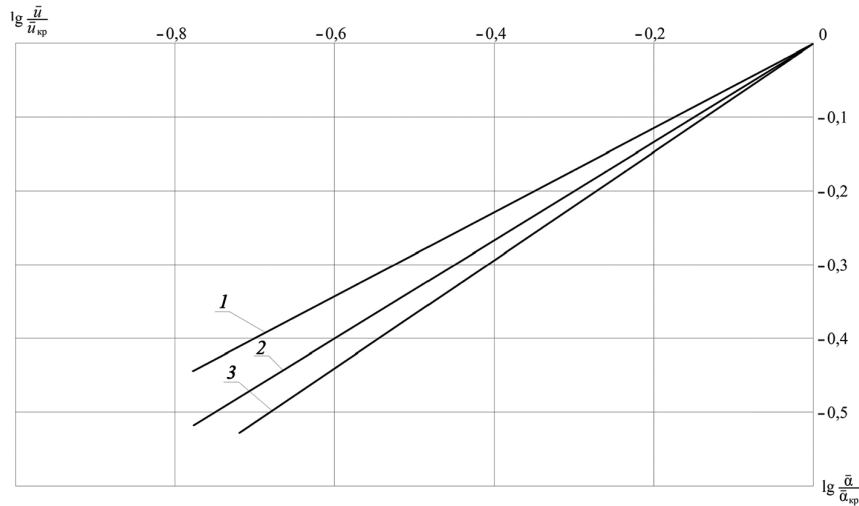


Рис. 3. Графики зависимости $\lg \bar{u}/\bar{u}_{кр}$ от $\lg \bar{a}/\bar{a}_{кр}$ для сушки асбеста (1), войлока (2) и пористой керамики (3)

Fig. 3. Graphs of dependence of $\lg \bar{u}/\bar{u}_{кр}$ on $\lg \bar{a}/\bar{a}_{кр}$ for drying of asbestos (1), felt (2) and porous ceramics (3)

Коэффициент теплоотдачи $\bar{a}$ определяется из уравнений теплового баланса для периодов постоянной и падающей скорости сушки

$$q_I \approx \bar{a}_{кр} \cdot (t_c - t_m) \approx j_I \cdot r, \quad (5)$$

$$q_{II} \approx \bar{a} \cdot (t_c - t_n) \approx j_{II} \cdot r, \quad (6)$$

где r – теплота парообразования, кДж/кг, j_I и j_{II} – интенсивность испарения влаги соответственно в первом и втором периодах сушки, кг/(м²·с),

$$j_I \approx \rho \cdot R_V \cdot N, \quad (7)$$

$$j_{II} \approx \rho \cdot R_V \cdot (d\bar{u}/d\tau)_{II}, \quad (8)$$

где ρ – плотности материала, кг/м³, R_V – отношение объема тела к площади его поверхности, м.

Скорость сушки во втором периоде $(d\bar{u}/d\tau)_{II}$ определяется по экспериментальным данным (см. например, кривые скорости сушки для листового асбеста и пористой керамики на рис. 2).

Коэффициент теплоотдачи $\bar{a}$ (Вт / (м²·°C)) для первого и второго периодов сушки определяется следующим образом:

$$\bar{a}_{кр} \approx \frac{j_I \cdot r}{t_c - t_m} \approx \frac{\rho \cdot R_V \cdot N \cdot r}{t_c - t_m}, \quad (9)$$

$$\bar{a} \approx \frac{j_{II} \cdot r}{t_c - t_n} \approx \frac{\rho \cdot R_V \cdot r \cdot (d\bar{u}/d\tau)_{II}}{t_c - t_n}. \quad (10)$$

Исходя из выражения (3), запишем выражение (2) в виде:

$$\left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^n \cdot \frac{\Delta t_{II}}{\Delta t_I} \approx N^*. \quad (11)$$

С учетом того, что $\Delta t_{II} = (t_c - t_n)$, $\Delta t_I = (t_c - t_m)$, получим

$$T^* = \frac{t_c - t_n}{t_c - t_m} \approx \frac{N^*}{\left(\bar{u}/\bar{u}_{кр} \right)^n}. \quad (12)$$

На рис. 4 даны результаты обработки эксперимента для зависимости $N^* = f(\bar{u}/\bar{u}_{кр})$ в процессах сушки керамики, асбеста и войлока.

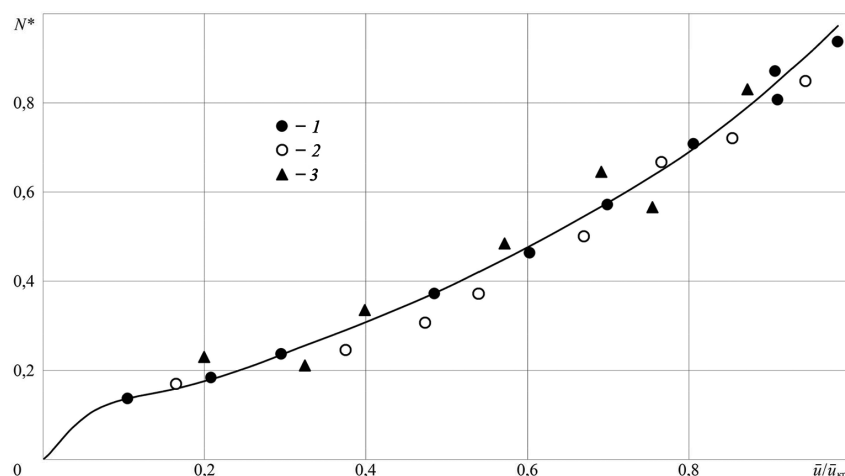


Рис. 4. Зависимость относительной скорости сушки N^* от относительного влагосодержания $\bar{u}/\bar{u}_{кр}$ для сушки керамики (1), листового асбеста (2) и шерстяного войлока (3)

Fig. 4. The dependence of the relative drying rate N^* on the relative moisture content $\bar{u}/\bar{u}_{кр}$ for drying ceramics (1), asbestos sheets (2) and wool felt (3)

Кривая на рис. 4 приближенно аппроксимируется уравнением

$$N^* \approx \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^{1,3}. \quad (13)$$

Подставляя формулу (13) в (12) и принимая среднее значение $n = 0,70$, получим уравнение температурной кривой

$$t_{п} = t_c - (t_c - t_m) \cdot \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^{0,57}. \quad (14)$$

В результате обработки результатов экспериментов по сушке различных влажных материалов при разных режимах сушки были получены обобщенные зависимости, единые для всех исследованных материалов [12; 13; 15; 16]:

$$\left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^n = N^{*0,57}; \quad (15)$$

$$T^* = \frac{t_c - t_{п}}{t_c - t_m} \approx N^{*0,43}. \quad (16)$$

Из выражения (16) определяется температура на поверхности материала

$$t_{п} \approx t_c - N^{*0,43} \cdot (t_c - t_m). \quad (17)$$

Принимая в уравнении (15) среднее значение $n = 0,70$, получим

$$N^* = \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^{1,28}. \quad (18)$$

Несовпадение показателя степени n в формулах (13) и (18) составляет 6 %, что находится в допустимой зоне ошибки при обработке экспериментальных данных.

Подставляя в формулу (16) уравнение (18), получим выражение температурной кривой

$$t_{п} \approx t_c - (t_c - t_m) \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^{0,55}. \quad (19)$$

Исходя уравнения кинетики сушки плотность потока тепла в периоде падающей скорости сушки равна

$$q_{II} \approx \rho \cdot R_V \cdot r \cdot N \cdot \left(\frac{\bar{u}}{\bar{u}_{кр}} \right)^{1,3}; \quad Rb \approx 0. \quad (20)$$

Сопоставление расчетных значений параметров кинетики сушки, вычисленных по формулам, с экспериментальными значениями, полученными в процессе конвективной сушки пористой керамики, листового асбеста и шерстяного войлока, дано в таблице.

Сопоставление расчетных значений параметров кинетики сушки, вычисленных по формулам, с экспериментальными значениями в процессе конвективной сушки пористой керамики, листового асбеста и шерстяного войлока

Comparison of calculated values of drying kinetics parameters calculated by formulas with experimental values in the process of convective drying of porous ceramics, sheet asbestos and woollen felt

$\bar{u}$	$\bar{u}/\bar{u}_{кр}$	N^* (13)	τ , мин / min	$t_{п}$, °C	$t_{п}$, °C (14)	$t_{п}$, °C (19)	$d\bar{u}/d\tau \cdot 10^{-4}$, c ⁻¹ / s ⁻¹
Пористая керамика. Пластина 120 × 80 × 5 мм. $\rho \approx 1860$ кг/м ³ ; $\bar{u}_0 = 0,24$; $\bar{u}_{кр} = 0,12$; $u_p = 0$; $t_m = 49$ °C. Режим сушки: $t_c = 120$ °C; $v = 5$ м/с; $\varphi = 5$ %; $N \approx 2,66 \cdot 10^{-4}$ c ⁻¹ Porous ceramics. Plate 120 × 80 × 5 mm. $\rho \approx 1860$ kg/m ³ ; $\bar{u}_0 = 0,24$; $\bar{u}_{кр} = 0,12$; $u_p = 0$; $t_m = 49$ °C. Drying mode: $t_c = 120$ °C; $v = 5$ m/s; $\varphi = 5$ %; $N \approx 2,66 \cdot 10^{-4}$ s ⁻¹							
0,10	0,83	0,785	6,5	55	56,2	56,0	2,088
0,08	0,67	0,594	11,0	63	63,5	63,2	1,58
0,06	0,50	0,410	15,0	68	71,2	71,0	1,08
0,04	0,33	0,236	21,5	78	80,5	81,4	0,629
0,02	0,18	0,108	28,5	88	90,5	91,2	0,287
0,01	0,083	0,049	33,0	101	101,5	102,0	0,108
Листовой асбест. Пластина 120 × 80 × 6 мм. $\rho \approx 770$ кг/м ³ ; $\bar{u}_0 = 0,46$; $\bar{u}_{кр} = 0,20$; $u_p = 0$; $t_m = 42$ °C. Режим сушки: $t_c = 120$ °C; $v = 5$ м/с; $\varphi = 5$ %; $N \approx 5 \cdot 10^{-4}$ c ⁻¹ Sheet asbestos. Plate 120 × 80 × 6 mm. $\rho \approx 770$ kg/m ³ ; $\bar{u}_0 = 0,46$; $\bar{u}_{кр} = 0,20$; $u_p = 0$; $t_m = 42$ °C. Drying mode: $t_c = 120$ °C; $v = 5$ m/s; $\varphi = 5$ %; $N \approx 5 \cdot 10^{-4}$ s ⁻¹							
0,16	0,8	0,82	10	51	49	51,2	3,74
0,14	0,7	0,73	12	53	52	54,6	3,14
0,12	0,6	0,64	14	58	57	60,2	2,57
0,08	0,4	0,44	20	69	69	71,4	1,52
0,04	0,2	0,23	24	86	84	86,6	0,62
0,02	0,1	0,12	30	93	92	94,5	0,25
Шерстяной войлок. Пластина 120 × 80 × 8 мм. $\rho \approx 200$ кг/м ³ ; $\bar{u}_0 = 1,14$; $\bar{u}_{кр} = 0,74$; $u_p = 0$; $t_m = 37$ °C. Режим сушки: $t_c = 90$ °C; $v = 5$ м/с; $\varphi = 6$ %; $N \approx 8,3 \cdot 10^{-4}$ c ⁻¹ Wool felt. Plate 120 × 80 × 8 mm. $\rho \approx 200$ kg/m ³ ; $\bar{u}_0 = 1,14$; $\bar{u}_{кр} = 0,74$; $u_p = 0$; $t_m = 37$ °C. Drying mode: $t_c = 90$ °C; $v = 5$ m/s; $\varphi = 6$ %; $N \approx 8,3 \cdot 10^{-4}$ s ⁻¹							
0,6	0,80	0,82	8	42	43,5	43,2	6,22
0,5	0,67	0,70	12	45	46,8	47,2	4,93
0,4	0,53	0,57	17	48	49,5	50,5	3,64
0,2	0,38	0,32	25	58	57,5	58,0	2,36
0,1	0,20	0,18	34	65	66,5	67,5	1,05

Заклучение. Рассмотренный метод расчета процесса сушки тонких плоских материалов основан на уравнении кинетики сушки, которое устанавливает связь между величинами, определяющими теплообмен по коэффициенту теплоотдачи и влагообмен по относительному коэффициенту сушки. Пользуясь уравнением кинетики сушки и обобщенной переменной – относительной скоростью сушки, на основе обработки экспериментальных данных процессов сушки тонких материалов получена простая экспериментальная формула для расчета температуры в периоде падающей скорости сушки.

Приведенная методика обработки экспериментальных данных может быть использована в практических расчетах сушки различных материалов.

Список использованных источников

1. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
2. Лыков, А. В. Теория тепло- и массопереноса / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 560 с.
3. Кудинов, А. А. Тепломассообмен / А. А. Кудинов. – М.: Инфра-М, 2022. – 375 с.
4. Акулич, П. В. Расчеты сушильных и теплообменных установок / П. В. Акулич. – Мн.: Бел. наука, 2010. – 443 с.
5. Рудобашта, С. П. Массотеплоперенос в системах с твердой фазой / С. П. Рудобашта. – М.: Химия, 1980. – 248 с.
6. Васильев, В. Н. Технология сушки. Основы тепло- и массопереноса / В. Н. Васильев, В. Е. Куцакова, С. В. Фролов. – СПб.: ГИОРД, 2013. – 224 с.
7. Цирельман, Н. М. Теория и прикладные задачи тепломассопереноса / Н. М. Цирельман. – СПб.: Лань, 2025. – 504 с.
8. Ольшанский, А. И. Кинетика теплообмена и экспериментальные методы расчета температуры материала в процессе сушки / А. И. Ольшанский // Инженерно-физический журнал. – 2013. – Т. 86, № 3. – С. 584–594.
9. Сажин, Б. С. Научные основы техники сушки / Б. С. Сажин. – М.: Наука, 1997. – 447 с.
10. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 550 с.
11. Рудобашта, С. П. Расчет кинетики сушки дисперсных материалов на основе аналитических методов / С. П. Рудобашта // Инженерно-физический журнал. – 2010. – Т. 83, № 4. – С. 705–714.
12. Лыков, А. В. Кинетика теплообмена в процессе сушки влажных материалов / А. В. Лыков, П. С. Куц, А. И. Ольшанский // Инженерно-физический журнал. – 1972. – Т. 23, № 3. – С. 401–406.
13. Ольшанский, А. И. Исследование процесса сушки плоских влажных материалов методом обобщенных переменных / А. И. Ольшанский. // Инженерно-физический журнал. – 2013. – Т. 86, № 1. – С. 66–76.
14. Красников, В. В. Кондуктивная сушка / В. В. Красников. – М.: Энергия, 1973. – 288 с.
15. Ольшанский, А. И. Исследование сушки тонких материалов с использованием обобщенных комплексных переменных / А. И. Ольшанский // Инженерно-физический журнал. – 2016. – Т. 89, № 4. – С. 884–894.
16. Ольшанский, А. И. Теплообмен при термической обработке и сушке материалов в аналитических расчетах нестационарной теплопроводности / А. И. Ольшанский, А. Н. Голубев // Инженерно-физический журнал. – 2023. – Т. 96, № 5. – С. 1142–1149.

References

1. Lykov A. V. *Drying Theory*. Moscow, Energiya Publ., 1968. 472 p. (in Russian).
2. Lykov A. V., Mikhaylov Yu. A. *Theory of Heat and Mass Transfer*. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1963. 560 p. (in Russian).
3. Kudinov A. A. *Heat-Mass Transfer*. Moscow, Infra-M Publ., 2022. 375 p. (in Russian).
4. Akulich P. V. *Calculations of Drying and Heat Exchange Installations*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2010. 443 p. (in Russian).
5. Rudobashta S. P. *Mass-Heat Transfer in Solid-Phase Systems*. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 248 p. (in Russian).
6. Vasilyev V. N., Kutsakova V. E., Frolov S. V. *Drying Technology. Basics of Heat and Mass Transfer*. Saint-Petersburg, GIORД Publ., 2013. 224 p. (in Russian).
7. Tsirel'man N. M. *Theory and Applied Problems of Heat-Mass Transfer*. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2025. 504 p. (in Russian).
8. Ol'shanskii A. I. Heat transfer kinetics and experimental methods for calculating the material temperature in the drying process. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 3, pp. 622–633. <https://doi.org/10.1007/s10891-013-0876-1>
9. Sazhin B. S. *Scientific Bases of Drying Technology*. Moscow, Nauka Publ., 1997. 447 p. (in Russian).
10. Lykov A. V. *Theory of Thermal Conductivity*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967. 550 p. (in Russian).
11. Rudobashta S. P. Calculation of the kinetics of drying disperse materials on the basis of analytical methods. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2010, vol. 83, no. 4, pp. 753–763. <https://doi.org/10.1007/s10891-010-0394-3>
12. Lykov A. V., Kuts P. S., Ol'shanskii A. I. Kinetics of heat transfer during the desiccation of moist materials. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 1972, vol. 23, no. 3, pp. 1082–1086. <https://doi.org/10.1007/BF00832214>
13. Ol'shanskii A. I. Investigation of the process of drying of plane moist materials by the method of generalized variables. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 69–79. <https://doi.org/10.1007/s10891-013-0806-2>
14. Krasnikov V. V. *Conductive Drying*. Moscow, Energiya Publ., 1973. 288 p. (in Russian).
15. Ol'shanskii A. I. Investigation of the Drying of Thin Materials with the use of Generalized Complex Variables. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2016, vol. 89, no. 4, pp. 886–895. <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1450-4>
16. Ol'shanskii A. I., Golubev A. N. Heat Transfer During Heat Treatment and Drying of Materials in Analytical Calculations of Nonstationary Heat Conduction. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2023, vol. 96, no. 5, pp. 1134–1141. <https://doi.org/10.1007/s10891-023-02778-x>