

#### Список использованных источников

1. Нестеренко, О. И. Краткая энциклопедия дизайнера / О. И. Нестеренко. – Москва : Молодая гвардия, 1994. – 315 с. ; ил.

#### SUMMARY

The question of competitiveness increase for the machine-building enterprises goods of Vitebsk city is considered in paper. In order to raise productivity and efficiency of design works the graphic packages to use for design development of the external form is offered. Case study illustrates opportunities of these packages.

УДК 536.2:67/68

#### МЕТОД РАСЧЕТА КРИВОЙ СКОРОСТИ СУШКИ

**Е.Ф. Макаренко, А.И. Ольшанский, В.И. Ольшанский**

При сушке различных капиллярно-пористых материалов используются эмпирические зависимости, основанные на наиболее общих закономерностях процесса сушки. К числу таких методов относятся: метод А.В. Лыкова [1], метод В.В.Красникова [2], метод Г.К. Филоненко [3]. В работах [4, 5] рассмотрены методы расчета кривой скорости сушки, основанные на обобщенных характеристиках кинетики сушки – обобщенном времени сушки  $N\tau$ , относительной скорости сушки  $N^*$  и безразмерным временем  $\tau^*$ . Однако, кроме названных методов расчета кривой скорости сушки при обработке кинетических кривых может приниматься степенная зависимость между скоростью сушки и влажностью во втором периоде (метод П.А. Жучкова), особенно, если кривые скорости сушки относятся ко 2-му или 3-му типам кривых по классификации А.В. Лыкова [1].

$$-\frac{dW}{d\tau} = \chi' N (W - W_p)^n, \quad (1)$$

где  $\chi'$  - относительный коэффициент сушки (1/%)

$n$  - постоянная величина, характеризующая свойства материала;

$N$  - скорость сушки в первом периоде.

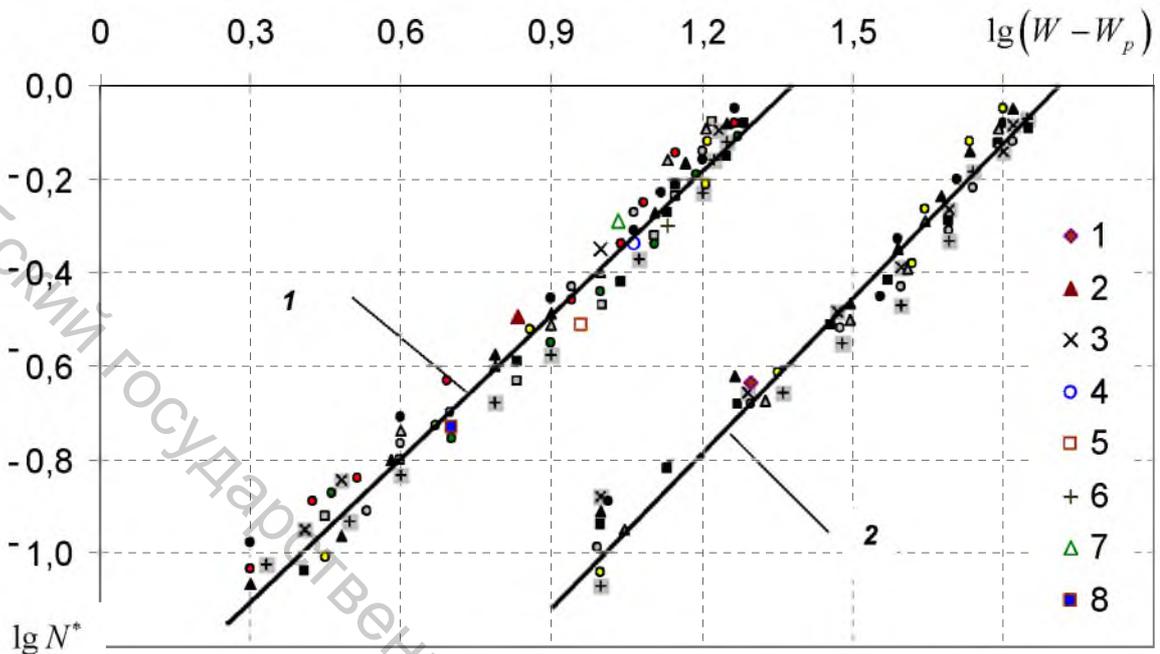
Относительный коэффициент сушки  $\chi'$  является функцией влагосодержания материала:

$$\chi' = \frac{1}{(W_{кр} - W_p)^n}, \quad (2)$$

где  $W_p$  - равновесное влагосодержание материала.

Уравнение кривой скорости сушки (1) содержит три постоянные  $\chi'$ ,  $n$  и  $W_{кр}$  - критическое влагосодержание. По количеству постоянных, определяемых из эксперимента, уравнение (1) аналогично методам А.В. Лыкова и В.В. Красникова [1, 2]. Для определения постоянных  $\chi'$  и  $n$  необходимо построить график в логарифмических координатах  $\lg N^* = f(\lg(W - W_p))$ . Тангенс угла наклона прямой на графике равен показателю степени  $n$ , а отрезок, отсекаемый на оси ординат, равен  $\lg \chi'$ .

Показатель степени  $n$  может быть больше или меньше 1, в зависимости от характера кривой скорости сушки. Если кривая скорости вогнута относительно оси влагосодержания  $W$ , то  $n > 1$ , если выпукла -  $n < 1$ .



1- асбест (1 -  $v=3$  м/с; 2-5 м/с; 3-10 м/с; 4-15 м/с; 5-20 м/с; 6-25 м/с при  $t_c=120$  °С;  $\delta_k=6$  мм), (7 -  $t_c=90$  °С 8 -  $t_c=150$  °С  $\delta_k=6$  мм); 2- войлок (обозначения режимов сушки по позиции 1)

Рисунок 1 – Зависимость между относительной скоростью сушки  $\lg N^*$  и влагосодержанием  $\lg(W - W_p)$  при конвективной сушке асбестовой и войлочной пластины в условиях вынужденной конвекции

Для выяснения влияния режимных параметров на  $\chi'$  и  $n$  обработаны опытные данные по сушке различных влажных материалов (войлок, глина, асбест, дерево (сосна), кожа). На рис. 1 дана зависимость между относительной скоростью сушки  $N^*$  и влагосодержанием в логарифмических координатах для войлока и листового асбеста при конвективной сушке в условиях вынужденной конвекции в широком диапазоне параметров сушки и толщины материала.

Как следует из анализа эксперимента, изменение режимных параметров и толщины материала не оказывает влияние на коэффициент сушки  $\chi'$  и на показатель степени  $n$ . В таблице 1 приведены значения  $\chi'$  и  $n$  для некоторых материалов, полученные при конвективной сушке в условиях вынужденной конвекции.

Таким образом, расчет скорости сушки и продолжительности процесса с достаточной степенью точности описывается степенной зависимостью (1).

Таблица 1 – Постоянные  $\chi'$  и  $n$  в уравнении (1)

| Режим сушки: $t = 90 \dots 150, ^\circ\text{C}$ ; $\phi = 5 \%$ ; $u = 3 \dots 25, \text{ м/с}$ . |        |                   |       |                  |
|---|--------|-------------------|-------|------------------|
| Наименование материала  |        |                   |       |                  |
| Параметр  | Асбест | Сосновая пластина | Глина | Шерстяной войлок |
| $\chi'$   | 0,035  | 0,005             | 0,045 | 0,007            |
| $n$   | 1,12   | 1,1               | 1,2   | 1,1              |

Интегрирование уравнения (1) в заданных пределах с учетом времени сушки в периоде постоянной скорости дает общую продолжительность процесса сушки до заданного влагосодержания  $W$ :

$$\tau = \frac{W_0 - W_{кр}}{N} + \frac{(W_{кр} - W_p)^{1-n}}{(1-n)\chi'N} \left[ 1 - \left( \frac{W - W_p}{W_{кр} - W_p} \right)^{1-n} \right] \quad (3)$$

Так как относительная скорость сушки  $N^*$  и обобщенное время  $N\tau$  не зависят от режима сушки и являются устойчивым комплексом величин, характерных для процесса сушки, то из метода обобщения кривых сушки следует, что относительная скорость сушки  $N^*$  является функцией обобщенного времени  $N\tau$ , т. е.  $N^* = f(N\tau)$ .

Данную обобщенную зависимость для кривой скорости сушки можно представить в виде степенной зависимости:

$$N^* = (N\tau)^{-k}, \quad (4)$$

где  $k$  - показатель степени, характеризующий свойства материала.

На рис. 2 представлена зависимость между относительной скоростью сушки  $N^*$  и обобщенным временем  $N\tau$  в логарифмических координатах при конвективной сушке войлока и асбестовой пластины в условиях вынужденной конвекции в широком диапазоне изменения режимных параметров. Анализ опытных данных показал, что изменение режимных параметров и толщина материала не влияет на показатель степени  $k$ , который для данного класса материалов оказался отрицательным. Результаты обработки опытных данных для некоторых влажных материалов при различных способах сушки приведены в таблице 2.

Скорость сушки из выражения (4) с учетом знака показателя степени  $k$  равна:

$$-\frac{dW}{d\tau} N(N\tau)^{-k} \quad (5)$$

Общая продолжительность процесса с учетом времени сушки в первом периоде равна:

$$\tau = \frac{W_0 - W_{кр}}{N} + \left[ \frac{W_{кр} - W}{N^{1-n}} (1-k) \right]^{\frac{1}{1-k}} \quad (6)$$

При конвективной сушке в условиях вынужденной конвекции для целого ряда влажных материалов постоянная  $k$  аппроксимируется линейной зависимостью:

$$k = 0,2 + \frac{4,2}{W_{кр}} \quad (7)$$

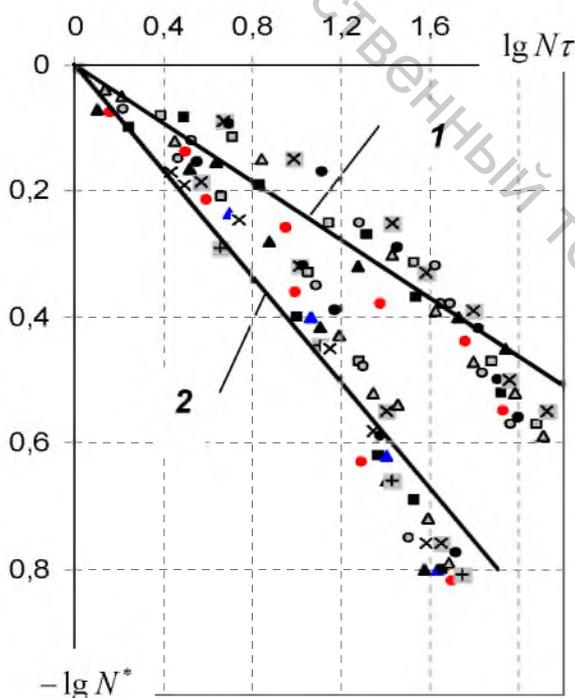
Таблица 2 – Константа  $k$  влажных материалов (конвективная сушка)

| Наименование материала            | Режим сушки |           |               | Предел точности уравнений (3), (6) до $W$ , % | $k$  |
|-----------------------------------|-------------|-----------|---------------|---|------|
|                                   | $t$ , °C    | $u$ , м/с | $\varphi$ , % |   |      |
| Шерстяной войлок $\delta=8-12$ мм | 90...150    | 3...25    | 5             | 10  | 0,22 |
| Подошвенная кожа $\delta=4-5$ мм  | 40...50     | 3...15    | 15            | 15  | 0,24 |

На рис. 3 представлено сопоставление экспериментальных и расчетных значений времени сушки по формулам (3) и (6) для некоторых материалов. Видно достаточно хорошее совпадение опытных и расчетных значений времени сушки в широком диапазоне изменения режимных параметров.

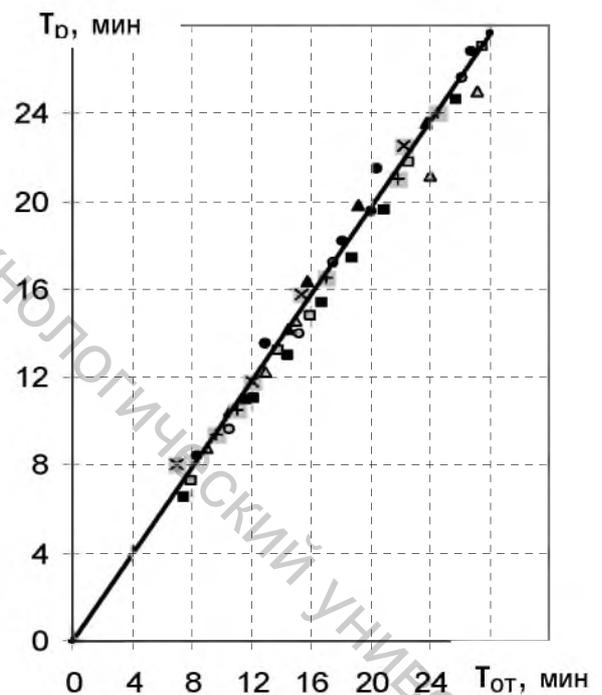
Список использованных источников

1. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – Москва: Энергия, 1968, - 469 с.
2. Красников, В. В. Кондуктивная сушка / В. В. Красников. – Москва: Энергия, 1973, - 365 с.



1- асбест (1 -  $u=3$  м/с; 2-5 м/с; 3-10 м/с; 4-15 м/с, 5-20 м/с; 6-25 м/с при  $t_c=120$  °C;  $\delta_k=6$  мм), (7 -  $t_c=90$  °C 8 -  $t_c=150$  °C  $\delta_k=6$  мм); 2- войлок (обозначения режимов сушки по позиции 1)

Рисунок 2 – Зависимость между относительной скоростью сушки  $lg N^*$  и  $lg N\tau$  при конвективной сушке асбестовой и войлочной пластины в условиях вынужденной конвекции



По формуле (3): 1 -  $u=3$  м/с; 2-10 м/с; при  $t_c=120$  °C; по формуле (7) режим сушки для войлока: 3-3 м/с; 4-10 м/с, при  $t_c=120$  °C, для асбеста: 5-3 м/с; 6-5 м/с при  $t_c=120$  °C), подошвенная кожа: 7  $u=3$  м/с; 8-5 м/с при  $t_c=60$  °C.

Рисунок 3 – Сопоставление опытных и расчетных значений продолжительности конвективной сушки войлока, листового асбеста, подошвенной кожи в условиях вынужденной конвекции по формулам (3) и (7)

Список использованных источников

1. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – Москва: Энергия, 1968, - 469 с.
2. Красников, В. В. Кондуктивная сушка / В. В. Красников. – Москва: Энергия, 1973, - 365 с.
3. Филоненко, Г.К. Сушильные установки / Г.К. Филоненко, П.Д. Лебедев. – Москва: Госэнергоиздат, 1952, - 256 с.
4. Ольшанский, А. И. Некоторые закономерности кинетики сушки влажных материалов // А. И. Ольшанский, В. И. Ольшанский, Е. Ф. Макаренко, - Инженерно-физический журнал / Минск – июль-август 2007. – т. 80, – № 4, – С. 143-146.
5. Куц, П.С. Некоторые закономерности теплообмена и приближенные методы расчета кинетики процесса сушки влажных материалов // П.С. Куц, А. И. Ольшанский, - Инженерно-физический журнал / Минск –1977. – т. 32, – № 6, – С. 1007-1014.

SUMMARY

Methods of calculation process of dryings of damp materials for the period of the falling speed, based on the generalized characteristics process of dryings - relative speed of the drying, generalized and relative time of drying are considered.

УДК 539.3

**СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ  
НЕКРУГОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ,  
СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ВЯЗКОУПРУГИХ СЛОЕВ**

***Е.А. Корчевская***

Постановка задачи. Рассматривается тонкая некруговая цилиндрическая оболочка постоянной длины  $L$ , состоящая из  $N$  изотропных вязкоупругих слоев, характеризующихся толщиной  $h_k$ , модулем Юнга  $E_k$ , плотностью  $\rho_k$  и коэффициентом Пуассона  $\nu_k$ .

В качестве исходных могут быть использованы уравнения [1], основанные на гипотезах, сформулированных Э.И. Григolloком и Г.М. Куликовым [2], которые отличаются от классических уравнений полубезмоментной теории тонких оболочек наличием дополнительных слагаемых, учитывающих поперечные сдвиги слоев. Отбрасывание последних приводит к уравнениям для изотропной оболочки с физическими характеристиками, равными осредненным по толщине параметрам слоистой исходной оболочки и может давать существенные погрешности при расчетах:

$$\begin{cases} \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \eta_3 \left( 1 - \frac{\theta h^2}{b} \Delta^* \right) \Delta^* \Delta^* \chi^* + \frac{1}{R_2(\alpha_2)} \frac{\partial^2 F^*}{\partial \alpha_1^2} - \rho h \Omega^2 W^* = 0, \\ \Delta^* \Delta^* F^* - \frac{Eh}{R_2(\alpha_2)} \frac{\partial^2 W^*}{\partial \alpha_1^2} = 0, \\ W^* = \left( 1 - \frac{h^2}{b} \Delta^* \right) \chi^*. \end{cases} \quad (1)$$