

УДК 677.027.16

**ЗАВИСИМОСТЬ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПАКОВОК ЛЬНЯНОЙ ПРЯЖИ  
ПРИ СУШКЕ ОТ ПЛОТНОСТИ И ВЛАЖНОСТИ\***

**THE DEPENDENCE OF FLAX YARN PACKAGES PERMEABILITY  
ON THE DENSITY AND HUMIDITY DURING DRYING**

*A.S. ГУБАНОВ, Н.В. КИСЕЛЕВ*  
*A.S. GUBANOV, N.V. KISELEV*

(Костромской государственной технологической университет)  
(Kostroma State Technological University)

E-mail: kstu-tplv@yandex.ru

*Получено уравнение регрессии для расчета проницаемости льняной пряжи в паковках в зависимости от плотности намотки и влажности.*

*The regression equation to calculate the permeability of flax yarn packages depending on the winding density and humidity is shown.*

**Ключевые слова:** льняная пряжа, сушка, проницаемость.

**Keywords:** flax yarn, drying, permeability.

---

\* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки, код проекта 1092.

В настоящее время повышение энергоэффективности является одним из приоритетных направлений модернизации экономики Российской Федерации. Ранее [1] сформулированы предложения по снижению энергоемкости процесса сушки паков в аппаратах СКД-6, и поставлена задача по разработке компьютерной модели процесса с целью его оптимизации. Для построения модели необходимы данные о зависимости проницаемости паков для воздуха от плотности намотки и влажности, которая должна быть получена экспериментально. Проницаемость паков для жидкости и воздуха детально исследована в классической работе [2], однако в ней приведены данные только для хлопчатобумажной и вязкой пряжи. Г.Н. Морозов [3] также занимался вопросами проницаемости паков, но не обобщил результаты в виде уравнения регрессии. В работе [4] приведен лишь общий характер зависимости проницаемости от влажности, без учета влияния плотности намотки. В монографии [5] вопросы воздухопроницаемости трубчатых текстильных фильтров на базе паков специальной структуры рассматривались без учета влияния влажности.

Эксперименты проводились на модернизированном устройстве для контроля проницаемости текстильных паков [6], которое было оснащено электрическим нагревателем воздуха и датчиком его температуры, а также электронными весами с компьютерным интерфейсом для определения изменения влажности паковки в процессе сушки. Для упрощения эксперимента рассчитывалась средняя проницаемость тела паковки в радиальном направлении, соответствующем преимущественному направлению фильтрации воздуха при сушке. Фильтрация через торцевые участки, в силу значительно большего сопротивления их, отдельно не учитывалась. Исследования проводились на льняной пряже линейной плотности 56 текс. Для снижения отрицательного влияния принятых упрощений толщина слоя намотки выбиралась пониженной и составляла 10...25 мм. Также не выделялось влияние перфорации патронов. Таким образом, паковка

рассматривалась как единый объект, что соответствует характеру задач при моделировании процесса сушки.

Средняя проницаемость определялась по формуле:

$$C = \frac{Q \ln \frac{D}{d}}{2 \pi h \Delta p} \mu, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $D$  – наружный диаметр паковки,  $\text{м}$ ;  $d$  – внутренний диаметр паковки,  $\text{м}$ ;  $h$  – высота паковки,  $\text{м}$ ;  $\Delta p$  – перепад давления на паковке,  $\text{Па}$ ;  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости воздуха.

Сушка паков осуществлялась до постоянной массы, расход воздуха составлял 1,5...7,1 л/с, температура 78...102°C. В условиях опыта коэффициент динамической вязкости воздуха считался постоянным и равным  $20,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Результаты обрабатывались в среде LabVIEW. Замеры перепада давления на паковке и расхода воздуха проводились с интервалом 3...5 с. Для снижения погрешности измерения проницаемости, связанной с влиянием наводок на соединительные провода между датчиком и аналогоцифровым преобразователем и турбулентными пульсациями скорости в зоне измерительной диафрагмы расходомера, использовалось сглаживание зависимости проницаемости от влажности степенной функцией вида  $y = a - bx^2$ . Пример аппроксимации для четырех паков с различной плотностью намотки приведен на рис. 1.

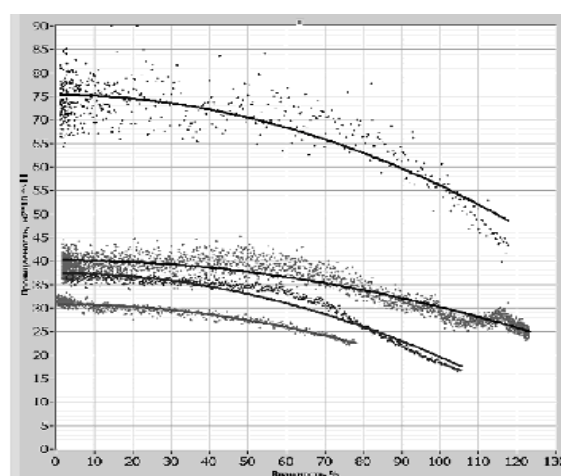


Рис. 1

Данные замеров достаточно хорошо аппроксимируются параболической функцией. Далее по полученным сглаженным зависимостям определялись значения проницаемости для четырех уровней влажности паковки. Результаты приведены в табл. 1.

Уравнение регрессии задавалось в виде, учитывающем влияние пористости тела паковки, зависящей от соотношения плотности намотки и плотности пряжи:

$$C = 10^{-3} \mu (A - BW^2) \left(1 - \frac{\rho}{\delta}\right)^n, \quad (2)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $n$  – искомые коэффициенты регрессии;  $W$  – влажность паковки, кг/кг;  $\rho$  – плотность намотки, кг/м<sup>3</sup>;  $\delta$  – объемная плотность пряжи, кг/м<sup>3</sup>.

Объемная плотность льняной пряжи, согласно [7], принята равной 950 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1

№	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, кг/кг	Проницаемость, м <sup>2</sup> ·10 <sup>-11</sup>
1	295	0,02	75,2
2		0,4	72,1
3		0,8	62,4
4		1,2	47,8
5	355	0,02	72,3
6		0,4	69,8
7		0,8	62,8
8		1,2	51,0
9	382	0,02	40,2
10		0,4	38,6
11		0,8	32,7
12		1,2	25,7
13	407	0,4	34,5
14		0,8	26,0
15		1,2	12,0
16	446	0,02	31,8
17		0,4	28,5
18		0,8	22,0
19		1,2	10,0

Результаты работы пакета PASW Statistics 18 даны в табл. 2 (коэффициенты регрессии и доверительные интервалы). Все

коэффициенты оказались статистически значимыми при доверительной вероятности 95%.

Таблица 2

Параметр	Оценка	Стд. ошибка	Доверительный интервал 95 %	
			нижняя граница	верхняя граница
A	16,426	4,266	7,426	25,426
B	4,540	1,643	1,072	8,007
n	3,854	0,562	2,668	5,040

Коэффициент детерминации для факторов достигает 0,802, что можно считать удовлетворительным. Таким образом, уравнение зависимости проницаемости паковки льняной пряжи от плотности намотки и влажности принимает вид:

$$C = 10^{-5} \mu (16,426 - 4,54W^2) \left(1 - \frac{\rho}{\delta}\right)^{3,854}. \quad (3)$$

## ВЫВОДЫ

Получены регрессионные зависимости проницаемости паковок льняной пряжи от плотности намотки и влажности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Губанов А.С., Киселев Н.В. Критериальное уравнение массообмена при сушке льняной пряжи в паковках // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №5. С.74.

2. Кленов В.Б. Фильтрация жидкости через слой деформируемого текстильного материала. – М.: Легкая индустрия. 1972.

3. Морозов Г.Н. Экспериментальные исследования проницаемости цилиндрического слоя, намotanного на перфорированный патрон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1967, №4. С.125.

4. Киселев Н.В. Развитие теории процессов распределения рабочих сред и совершенствование аппаратов для жидкостной обработки и сушки паковок: Дис.... докт. техн. наук.– Кострома, 2008.

5. Панин И.Н., Лапшенкова В.С., Морозов С.И., Николаев С.Д. и др. Текстильные фильтры на базе специальных мотальных паковок. – М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2009.

6. Киселев Н.В. Автоматизированное устройство для контроля проницаемости и разбраковки паковок мягкой мотки //Вестник Костромского гос. технолог. ун-та. – 2009, №21. С.65.

7. Свойства волокон и нитей [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://brezent.net/read/1/05.htm>.

#### REFERENCES

1. Gubanov A.S., Kiselev N.V. Kriterial'noe uravnenie massoobmena pri sushke l'njanoj prjazhi v

pakovkah // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, №5. S.74.

2. Klenov V.B. Fil'tracija zhidkosti cherez sloj deformiruemogo tekstil'nogo materiala. – М.: Legkaja industrija. 1972.

3. Morozov G.N. Jeksperimental'nye issledovanija pronicaemosti cilindricheskogo sloja, namotannogo na perforirovannyj patron // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1967, №4. S.125.

4. Kiselev N.V. Razvitie teorii processov raspredelenija rabochih sred i sovershenstvovanie apparatov dlja zhidkostnoj obrabotki i sushki pakovok: Dis.... dokt. tehn. nauk.– Kostroma, 2008.

5. Panin I.N., Lapshenkova V.S., Morozov S.I., Nikolaev S.D. i dr. Tekstil'nye fil'try na baze special'nyh motal'nyh pakovok. – М.: MGTU im. A.N.Kosygina, 2009.

6. Kiselev N.V. Avtomatizirovannoe ustrojstvo dlja kontrolja pronicaemosti i razbrakovki pakovok mjagkoj motki //Vestnik Kostromskogo gos. technolog. un-ta. – 2009, №21. S.65.

7. Svojstva volokon i nitej [jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://brezent.net/read/1/05.htm>.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 30.09.15.