

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ СМЕСОВОЙ ЛЬНОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРЯЖИ

RESEARCH OF SORPTION PROPERTIES OF MIXED FLAX-CONTAINING YARN

А.С. ДЯГИЛЕВ, А.Г. КОГАН, П.В. МУРЫЧЕВ
A.S. DYAGILEV, A.G. KOGAN, P.V. MURYSHEV

(Витебский государственный технологический университет)
(Vitebsk State Technological University)
E-mail: dygilev@gmail.com

В работе предложена модель процесса сорбции смешанной пряжи, позволяющая проводить статистическую оценку параметров кривой сорбции, реализовать экспресс-метод оценки кривой сорбции; проводить критериальную оценку различия кривых сорбции.

The article presents the model of the process of mixed yarn sorption, which allows to make statistic estimation of the parameters of a sorption curve, to realize an express-method of the sorption curve estimation, to carry out criterion assessment of sorption curves difference.

Ключевые слова: кривая сорбции, экспресс-метод оценки кривой сорбции, критериальная оценка различия кривых сорбции.

Keywords: a sorption curve, an express-method of sorption curve estimation, criterion estimation of sorption curves differences.

Для целей проектирования сорбционных свойств смешанной многокомпонентной пряжи необходимо разработать модели зависимости сорбционных свойств как для пряжи в целом, так и для ее отдельных компонентов.

Модель процесса сорбции должна с высокой степенью достоверности аппроксимации описывать экспериментальные данные и согласовываться со следующими теоретическими предположениями:

– в начале увлажнения момент времени $t = 0$, фактическая влажность волокнистого материала равна нулю:

$$W_{\phi}(t=0) = 0;$$

– фактическая влажность волокнистого материала асимптотически стремится к постоянной величине, предельной фактической влажности:

$$W_{\pi} = \lim_{t \rightarrow \infty} V_{W_{\phi}};$$

– скорость изменения фактической влажности максимальна в начальный момент времени и с течением времени стремится к нулю:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} V_{W_{\phi}} = 0,$$

Приведенным требованиям удовлетворяет дробно рациональная функция:

$$W_{\phi} = \frac{t}{b_0 + b_1 t}, \quad (1)$$

где b_0 и b_1 – некоторые параметры модели.

Желательной является физическая интерпретация параметров модели. Для этого, разделив числитель и знаменатель выражения (1) на t и подставив $t \rightarrow \infty$, найдем

асимптоту, то есть предельную фактическую влажность:

$$W_n = \frac{1}{b_1}. \quad (2)$$

Продифференцировав выражение (1), получим скорость изменения фактической влажности:

$$V_{W_\phi} = \frac{\partial W_\phi}{\partial t} = \frac{1}{b_0 + b_1 t} - \frac{t b_1}{(b_0 + b_1 t)^2}. \quad (3)$$

$$V_{W_\phi} = \frac{1}{1/V_n + t/W_n} = \frac{t/W_n}{(1/V_n + t/W_n)^2} = \frac{V_n W_n^2}{(W_n + t V_n)^2}, \quad (5)$$

где V_n – начальная скорость изменения фактической влажности, %/мин; W_n – предельная фактическая влажность, %.

Подставляя (2) и (4) в (1), получим динамическую модель зависимости фактической влажности с коэффициентами, имеющими физическую интерпретацию:

$$W_\phi = \frac{t}{1/V_n + t/W_n} = \frac{t V_n W_n}{W_n + t V_n}. \quad (6)$$

После проведения линеаризации модели (1) с помощью замены переменной $y = t/W_\phi$:

$$y = b_0 + b_1 t \quad (7)$$

оценки параметров модели b_0 и b_1 могут быть найдены методом наименьших квадратов [1]. После проведения тождественных преобразований получим формулы для нахождения оценки предельной фактической влажности:

$$W_n = \frac{1}{b_1} = \frac{\overline{t^2} - \bar{t}^2}{\overline{t^2/W_\phi} - \bar{t}/\bar{W}_\phi} \quad (8)$$

и начальной скорости изменения фактической влажности:

Скорость изменения фактической влажности максимальна в начальный момент времени $V_n = V_{W_\phi}(t=0)$ и может быть определена с помощью оценки параметра b_0 модели (1):

$$V_n = \frac{1}{b_0}. \quad (4)$$

Подставляя (2) и (4) в (3) получим модель скорости изменения фактической влажности с коэффициентами, имеющими физическую интерпретацию:

$$V_n = \frac{1}{b_0} = \frac{1}{t/W_\phi - \bar{t}/W_n}, \quad (9)$$

Таким образом, возможность линеаризации модели позволяет с помощью аппарата линейного регрессионного анализа получать точечные и интервальные оценки предельной фактической влажности W_n и начальной скорости изменения фактической влажности V_n , а также доверительные пределы для всей кривой сорбции с помощью методов линейного регрессионного анализа [1].

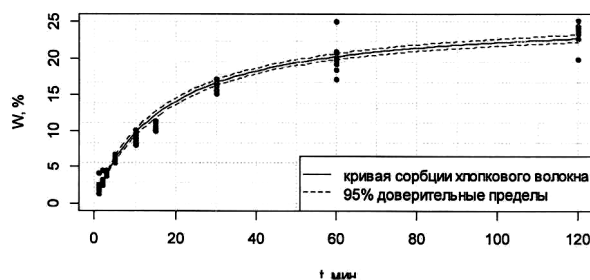


Рис. 1

На рис. 1 показаны оценка кривой сорбции для хлопкового волокна и ее 95%-ные доверительные пределы для среднего значения. Точечная оценка предельной фактической влажности хлопкового волокна $W_n = 25,898\%$, ее

95%-ный доверительный интервал $W_{\Pi} = (24,119-27,962)$. Точечная оценка начальной скорости изменения фактической влажности хлопкового волокна $V_{\Pi} = 1,572$, ее 95%-ный доверительный интервал $V_{\Pi} = (1,302-1,983)$.

Коэффициент детерминации линейаризованной модели для хлопкового волокна $R^2 = 0,993$. Для статистической обработки экспериментальных данных использовались средства языка R [2].

Для оценки параметров линейаризованной модели (7) достаточно провести опыты для двух временных интервалов t_1 и t_2 . Это позволяет реализовать метод экспресс-оценки сорбционных свойств волокнистого материала по двум кратковременным опытам.

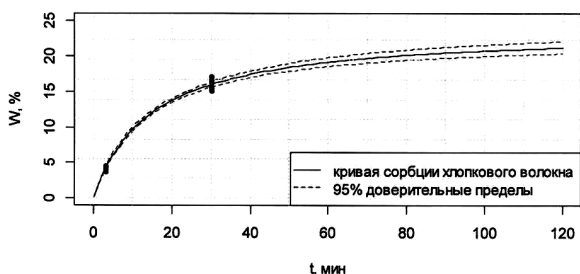


Рис. 2

На рис. 2 приведена оценка кривой сорбции котонизированного льняного волокна по опытам для двух временных интервалов: $t_1 = 3$ мин, $t_2 = 30$ мин. При экспресс-оценке кривой сорбции характерно, что чем дальше по времени делается экстраполяция, тем шире доверительные пределы и тем меньше надежность прогнозной оценки.

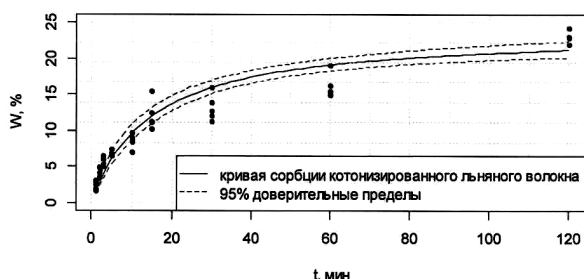


Рис. 3

На рис. 3 показаны аппроксимирующая функция кривой сорбции для

котонизированного льняного волокна и ее 95%-ные доверительные пределы. Точечная оценка предельной фактической влажности льняного волокна $W_{\Pi} = 23,969\%$, ее 95%-ный доверительный интервал $W_{\Pi} = (20,311-29,232)$. Точечная оценка начальной скорости изменения фактической влажности льняного волокна $V_{\Pi} = 1,554$, ее 95%-ный доверительный интервал $V_{\Pi} = (1,009-3,381)$. Коэффициент детерминации линейаризованной модели котонизированного льняного волокна $R = 0,961$.

Важной с практической точки зрения задачей является оценка различия не только отдельных параметров кривой сорбции, но и оценка структурного различия кривых сорбции в целом. Для сравнения процессов сорбции котонизированного льняного волокна и хлопкового волокна приведем оценки зависимости скорости изменения фактической влажности (рис. 4), построенные согласно выражению (6).

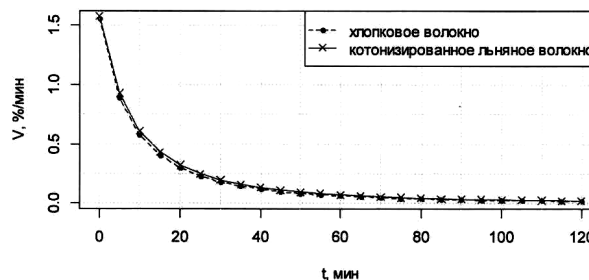


Рис. 4

Как видно из рис. 4, зависимости скорости изменения фактической влажности котонизированного льняного и хлопкового волокна близки друг к другу. Близки друг к другу и оценки параметров модели сорбции. Однако кроме визуального сравнения кривых сорбции необходимо иметь возможность критериальной оценки их различия. Так как предложенная модель кривой сорбции (7) линейаризуема с помощью замены переменной (8), то для оценки различия кривых сорбции может использоваться критерий Чоу [3], широко применяемый при решении эконометрических задач для оценки структурных различий между

линейными регрессионными моделями.

В условиях РУПП "Оршанский льнокомбинат" на пневмомеханической прядильной машине Rieter R 40 были наработаны образцы пряжи различного сырьевого состава линейной плотностью 50 текс. Для исследования сорбционных

свойств образцов в лабораторных условиях ВГТУ наработаны образцы ткани полотняного переплетения. Точечные и интервальные оценки параметров модели сорбции (6) для ткани различного сырьевого состава приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Сырьевой состав смесовой пряжи	Коэффициент детерминации линеаризованной модели	Предельная фактическая влажность $W_{п, \%}$	Скорость изменения фактической влажности $V_{н, \%/\text{мин}}$
Хлопок 100%	0,989	25,520 (22,798-28,979)	1,523 (1,109-2,428)
Лен 45 % Хлопок 27,5% Полиэфир 27,5 %	0,989	23,359 (20,904-26,469)	1,498 (1,074-2,474)
Лен 60 % Хлопок 40 %	0,982	25,69 (22,290-30,314)	1,313 (0,932-2,218)
Лен 50 % Хлопок 50 %	0,981	25,802 (22,240-30,723)	1,345 (0,936-2,389)
Лен 100%	0,972	24,088 (20,195-29,841)	1,328 (0,853-2,995)

Как видно из табл. 1, параметры кривых сорбции для образцов ткани из пряжи различного сырьевого состава близки друг к другу, а их доверительные интервалы пересекаются. Сравнение кривых сорбции образцов ткани различного сырьевого состава проводилось на основе

линеаризованных данных с помощью критерия Чоу. Достижимый уровень значимости критерия Чоу при оценке однородности кривых сорбции для ткани различного сырьевого состава приведен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Сырьевой состав смесовой пряжи	I	II	III	IV	V
I. Хлопок 100%	1				
II. Лен 45 % Хлопок 27,5 % Полиэфир 27,5 %	0,236	1			
III. Лен 60 % Хлопок 40 %	0,723	0,450	1		
IV. Лен 50 % Хлопок 50 %	0,751	0,355	0,982	1	
V. Лен 100%	0,427	0,901	0,766	0,65	1

Как видно из табл. 2, достигаемый уровень значимости критерия Чоу при сравнении всех вариантов наработанной ткани $p\text{-value} > 0,05$. Таким образом, нет оснований для отклонения нулевой гипотезы о совпадении кривых сорбции исследованных образцов ткани. При этом остальные физико-механические показатели наработанных образцов пряжи могут не совпадать между собой и, следовательно, при разработке оптимального состава смеси волокон можно сосредоточиться на других критериях оптимизации.

В Ы В О Д Ы

Предложена модель процесса сорбции, которая описывает динамику фактической влажности смесовой льносодержащей пряжи. Модель позволяет построить кривую сорбции, ее доверительные пределы при проведении опытов для двух временных интервалов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дягилев А.С., Коган А.Г. Методы и средства исследований технологических процессов: Учебное пособие. – Витебск: ВГТУ, 2012.