

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОКНОПЕРЕХОДА  
МЕЖДУ ПИЛЬЧАТЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ  
ВРАЩАЮЩИХСЯ БАРАБАНОВ  
НА ОСНОВЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ БАЛАНСА МАССЫ\***

**MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS  
TRANSITION COTTONIZED FLAX FIBERS  
BETWEEN THE SERRATED SURFACES OF THE ROTATING DRAMS BASED  
ON THE CONSERVATION LAW OF MASS BALANCE**

*И.Ю. ЛАРИН, А.П. МОРЫГАНОВ, Т.Я. КРАСИК, М.А. ТУВИН, Е.Е. САВЕЛЬЕВА*  
*I.YU. LARIN, A.P. MORYGANOV, T.YA. KRASIK, M.A. TUVIN, E.E. SAVELYEVA*

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт,  
Институт химии растворов им. Г.А.Крестова РАН, г. Иваново)  
(Ivanovo State Polytechnical University. Textile Institute,  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS, Ivanovo)  
E-mail: nir\_igta@mail.ru

*Рассматривается теория процесса волокноперехода между пильчатыми поверхностями вращающихся барабанов в устройстве фракционирования котонизированных льняных волокон на мягкую и жесткую фракции. На основе закона сохранения баланса массы разработана теория процесса однонаправленного перехода котонизированных льняных волокон с пильчатой поверхности одного вращающегося барабана на пильчатую поверхность другого вращающегося барабана. Выведены зависимость для расчета длины зоны механического съема котонизированных волокон с пильчатой поверхности одного вращающегося барабана на другой в процессе фракционирования и зависимость для расчета загрузок пильчатых вращающихся барабанов.*

*Considers the theory of the process of fiber transition between the serrated surfaces of rotating drums in the fractionation device of cottonized flax fiber on hard and soft fractions. On the basis of the law of conservation of mass balance developed a theory of the process of unidirectional transfer cottonized flax fibers from serrated surface of one rotating drum on the serrated surface of the other rotating drum. Derived dependence for the calculation length of zone of mechanical removal cottonized fibers in the fractionation process and the dependence for the calculation of downloads of the serrate rotating drums.*

**Ключевые слова:** котонизированный лен, фракционирование волокон, односторонний переход волокон, загрузка барабана.

**Keywords:** cottonized flax, fiber fractionation, unidirectional transfer of fibers, download of the dram.

В настоящее время в текстильной промышленности назрела острая необходимость перевода производства льняной пряжи на более прогрессивные и рента-

бельные классические системы прядения хлопка и шерсти [1], [2].

В процессе элементаризации льняного волокна [3] одревесневшие волокна для

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-48-03021 p\_центр\_a).

полного разделения требуют более интенсивной обработки. Экономически и технологически более целесообразно давать волокну щадящие нагрузки, использовать последующее фракционирование волокон по степени жесткости [4] и их дальнейшее раздельное использование в прядении [5].

В устройстве фракционирования волокон определяющая технологическая задача решается в зоне волоконперехода. Моделирование процессов в этой зоне является важным инструментом для оптимизации процесса фракционирования.

На рис. 1 представлена общая схема зоны однонаправленного волоконперехода между вращающимися пильчатыми барабанами разного радиуса.

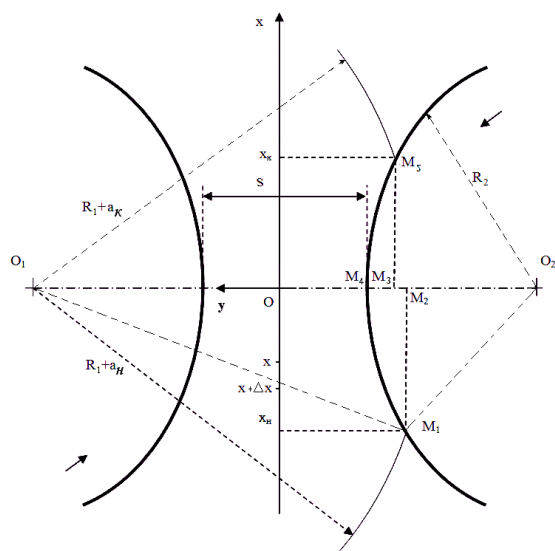


Рис. 1

Вращение барабанов происходит в одном направлении. Радиусы барабанов равны  $R_1$  и  $R_2$ . Рассматриваем случай, когда со второго барабана осуществляется аэродинамический сьем остаточного слоя волокон, тогда загрузка второго барабана волокнами на входе в зону механического съема волокон практически равна нулю, то есть можно считать, что в этой зоне волокна переходят только в одном направлении: с первого барабана на второй. Поэтому далее принимаем, что имеет место только однонаправленный механический сьем волокон с первого барабана на второй.

Обозначим через  $a_H$  и  $a_K$  – расстояния, на которые выступают кончики волокон из гарнитуры на входе в зону волоконперехода и на выходе из нее соответственно, а через  $s$  – разводку между барабанами. Пусть  $x$  – координата вдоль зоны механического съема волокон (рис.1). Точки  $x=x_H$  и  $x=x_K$  определяют начало и конец дуги съема. Нами получена следующая зависимость для расчета зоны волоконперехода:

$$l_n = \sqrt{2 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} (\sqrt{a_H - s} + \sqrt{a_K - s}). \quad (1)$$

Обозначим загрузку пильчатого барабана через  $m_i$ , где  $i$  – номер барабана. Полагаем, что при анализе движения волокон на движущихся барабанах и между барабанами линейные плотности волокнистых потоков (то есть величины  $m_i$ ) таковы, что можно считать непрерывным распределение массы по площади их поперечного сечения, то есть, если обозначить площадь поперечного волокнистого потока через  $S_i$ , то средняя плотность волокнистой массы в потоке равна:

$$\rho_i = m_i / S_i. \quad (2)$$

Следовательно, к процессу волоконперехода допустимо выражение закона сохранения баланса массы, применяемое в механике сплошных сред [6], [7]. Обозначим скорость, с которой движется волокнистый поток в точке  $x$ , через  $V_x$ . Тогда закон сохранения баланса массы применительно к процессу волоконперехода представляется следующим образом:

$$\frac{\partial \rho_{вг}}{\partial t} + \rho_{вг} \frac{\partial V_x}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

где  $\rho_{вг}$  – объемная плотность массы в волокнистом потоке;  $t$  – время.

Пусть  $a$  – высота, на которую выступают кончики волокон из гарнитуры на участке  $-\ell_{пн} \leq x \leq \ell_{пк}$ . Обозначим через  $h_3$  – высоту зуба, а через  $b_{ш}$  – длину барабана. Умножая это уравнение на комплекс  $[(h_3 + a) b_{ш}]$ , получаем, что

$$\frac{\partial m}{\partial t} + m \frac{\partial V_x}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

При механическом съеме волокон их скорость изменяется на величину  $\Delta V_x = V_1 + V_2$ , где  $V_1$  и  $V_2$  – окружные скорости барабанов. Следовательно, на основе закона сохранения баланса массы (3) находим следующее соотношение:

$$\frac{dm}{dt} + m \frac{V_1 + V_2}{\Delta x} = 0. \quad (5)$$

Обозначая  $k_x = \Delta x^{-1}$ , отметим, что величина  $k_x$  обратно пропорциональна среднему значению того участка оси  $Ox$ , на котором осуществляется переход комплекса волокон массы  $\Delta m$ . Значение  $k_x$  находится экспериментально.

Из (5) получаем, что

$$\frac{dm}{dt} = -k_x m (V_1 + V_2). \quad (6)$$

Так как  $dx \approx V_1 dt$ , то

$$\frac{dm}{dx} = -k_x \frac{m(V_1 + V_2)}{V_1}. \quad (7)$$

то

$$m(x_k) = m_n \exp\left(-k_x \frac{(V_1 + V_2)(\ell_{n1} + \ell_{n2})}{V_1}\right) = m_n \exp\left(-k_x \frac{(V_1 + V_2)\ell_n}{V_1}\right). \quad (10)$$

Обозначим загрузку первого барабана остаточным слоем  $m(x_k)$  через  $m_{oc}$ . Тогда

$$m_{oc} = m_n \exp\left(-k_x \frac{(V_1 + V_2)\ell_n}{V_1}\right). \quad (11)$$

Как следует из (7), интенсивность волокноперехода по длине дуги съема пропорциональна нагрузке  $m$ , сумме окружных скоростей первого и второго барабанов и обратно пропорциональна окружной скорости первого барабана. Полученное соотношение (7) в отличие от ранее известных моделей волокноперехода, представленных в работах [8], [9], выведено на основе физического закона.

Величина загрузки барабана вдоль дуги съема определяется интегрированием уравнения (7):

$$\int_{m_n}^m \frac{dm}{m} = -k_x \frac{V_1 + V_2}{V_1} \int_{-\ell_{n1}}^x dx, \quad (8)$$

где  $m_n$  – загрузка первого барабана в начале дуги съема.

Интегрируя (8), получаем:

$$\ln m(x) - \ln m_n = -k_x \frac{V_1 + V_2}{V_1} (x + \ell_{n1}). \quad (9)$$

Так как отсюда

$$\frac{m(x)}{m_n} = \exp\left(-k_x \frac{V_1 + V_2}{V_1} (x + \ell_{n1})\right),$$

Обозначим через  $n_1$  и  $n_2$  частоту вращения первого и второго барабана соответственно. Находим далее, что

$$m_{oc} = m_n \exp\left[-2k_x \left(1 + \frac{n_2}{n_1}\right) \sqrt{2 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} (\sqrt{a_n - s} + \sqrt{a_k - s})\right]. \quad (12)$$

Упрощая (12), имеем

$$m_{oc} = m_n \exp \left[ -2k_x (1 + n^*) R_r \left( \sqrt{a_n^* - s^*} + \sqrt{a_k^* - s^*} \right) \right], \quad (13)$$

где  $n^* = \frac{n_2}{n_1}$ .

Как следует из (13), нагрузка первого барабана остаточным слоем убывает при возрастании величины  $a_n$ . То есть при увеличении содержания жестких волокон в поступающем в зону механического съема волокнистом потоке имеет место снижение загрузки первого барабана остаточным слоем. Это явление объясняется тем, что

жесткие волокна, выступая из гарнитуры на большее расстояние, чем мягкие волокна, интенсивнее захватываются зубьями гарнитуры следующего барабана и далее удерживаются ими.

Как показывает зависимость (13), значения загрузки приемного барабана остаточным слоем можно определить лишь в том случае, если известен коэффициент  $k_x$ .

Из (12) следует, что

$$k_x = - \left\{ 2 \left( 1 + \frac{n_2}{n_1} \right) \sqrt{2 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \left( \sqrt{a_n - s} + \sqrt{a_k - s} \right) \right\}^{-1} \ln \left( \frac{m_{oc}}{m_n} \right).$$

## ВЫВОДЫ

1. На основе закона сохранения баланса массы разработана теория процесса однонаправленного перехода волокон с пильчатой поверхности одного вращающегося барабана на пильчатую поверхность другого вращающегося барабана.

2. Выведена зависимость для расчета зоны механического съема котонизированных волокон с пильчатой поверхности одного вращающегося барабана на другой в процессе фракционирования.

3. Выведена аналитическая зависимость для расчета загрузок пильчатых вращающихся барабанов в зоне волокноперехода.

/ Ларин И.Ю., Капитанов В.В.; опубл. 10.03.09, Бюл. № 7.

5. Ларин И.Ю. Влияние жестких волокон котонина на качество пряжи и стабильность технологического процесса прядения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 2.

6. Голубева О.В. Курс механики сплошных сред. – М.: Высшая школа, 1972.

7. Красик Т.Я. Совершенствование процессов разрыхления, очистки и смешивания для производства хлопкольнай пряжи: Дис.... канд. техн. наук. – Иваново, 2012.

8. Труевцев Н.И., Свицерский Р.В. Уравнение массообмена волокон и изменение загрузки кардных поверхностей в дуге взаимодействия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1973, №1. С. 44...47.

9. Ашинин Н.М. Кардочесание волокнистых материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность и бытовое обслуживание, 1985.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Разумеев К.Э., Павлов Ю.В. и др. Теоретические основы технологии прядения. –Иваново: ИВГПУ, 2014.

2. Разумеев К.Э., Павлов Ю.В. и др. Процессы, технология и оборудование приготовления крученой, фасонной пряжи и ниток. – Иваново, ИВГПУ, 2014.

3. Патент РФ № 2497982. Способ обработки комплексных лубяных волокон и устройство для его реализации / Ларин И. Ю., Савинов Е. Р.; опубл. 10.11.13, Бюл. № 31.

4. Патент РФ № 2348745. Способ обработки льняного волокна и устройство для его реализации

## REFERENCES

1. Razumeev K.Je., Pavlov Ju.V. i dr. Teoreticheskie osnovy tehnologii prjadenija. –Ivanovo: IVGPU, 2014.

2. Razumeev K.Je., Pavlov Ju.V. i dr. Processy, tehnologija i oborudovanie prigotovlenija kruchenoj, fasonnoj prjazhi i nitok. – Ivanovo, IVGPU, 2014.

3. Patent RF № 2497982. Sposob obrabotki kompleksnyh lubjanyh volokon i ustrojstvo dlja ego realizacii / Larin I. Ju., Savinov E. R.; opubl. 10.11.13, Bjul. № 31.

4. Patent RF № 2348745. Sposob obrabotki l'njanogo volokna i ustrojstvo dlja ego realizacii / Larin I.Ju., Kapitanov V.V.; opubl. 10.03.09, Bjul. № 7.

5. Larin I.Ju. Vlijanie zhestkih volokon kotonina na kachestvo prjazhi i stabil'nost' tehnologicheskogo processa prjadenija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 2.

6. Golubeva O.V. Kurs mehaniki sploshnyh sred. – M.: Vysshaja shkola, 1972.

7. Krasik T.Ja. Sovershenstvovanie processov razryhlenija, ochistki i smeshivaniya dlja proizvodstva hlopkol'njanoj prjazhi: Dis.... kand. tehn. nauk. – Ivanovo, 2012.

8. Truevcev N.I., Sviderskij R.V. Uravnenie mas-soobmena volokon i izmenenie zagruzki kardnyh

poverhnostej v duge vzaimodejstvija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1973, №1. S. 44...47.

9. Ashnin N.M. Kardochesanie voloknistyh materialov. – M.: Legkaja i pishhevaja promyshlennost' i bytovoe obsluzhivanie, 1985.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования текстильных изделий ИВГПУ. Поступила 15.01.16.

---