

УДК 677.051.174

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ВОЛОКНА  
ПРИ ЕГО СЪЕМЕ УСКОРЯЮЩИМСЯ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ  
С ГАРНИТУРЫ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ПИЛЬЧАТОГО БАРАБАНА**

**MATHEMATICAL MODEL OF FIBER MOTION  
IN THE REMOVAL BY THE ACCELERATING AIR FLOW  
FROM TAPE OF ROTATING SERRATED DRUM**

*А.Г. ХОСРОВЯН, М.А. ТУВИН, Т.Я. КРАСИК, Г.А. ХОСРОВЯН, А.А. ТУВИН*  
*A.G. KHOSROVYAN, M.A. TUVIN, T.YA. KRASIK, G.A. KHOSROVYAN, A.A. TUVIN*

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт)  
(Ivanovo State Polytechnical University. Textile Institute)  
E-mail: khosrovyan\_haik@mail.ru

*Выведены общие уравнения динамики волокна в процессе аэродинамического съема с зубьев вращающихся барабанов текстильных машин. В рамках предложенного подхода к решению задачи рассмотрен сжимающийся конфузорный воздушный поток, который позволяет существенно сократить длину дуги аэродинамического съема и траектории движения волокон. Представлена методика расчета параметров канала аэродинамического съема.*

*Obtained general equations of fiber dynamics in the process of the aerodynamic removal from the teeth of rotating drums of textile machinery. Under the proposed approach to the solution of the problem considered removing by the converging air flow, which can significantly reduce the aerodynamic removal arc length and the trajectory of the fiber motion. The calculation method of the channel parameters of the aerodynamic removal presented.*

**Ключевые слова:** волокно, аэродинамический съем, пильчатый барабан, конфузорный воздушный поток.

**Keywords:** fiber, aerodynamic removal, serrated drum, converging air flow.

При разработке нового оборудования для получения многослойных волокнистых материалов [1] решались разнообразные теоретические и практические задачи по его дальнейшему совершенствованию. Ба-

зой для выполнения данной разработки послужили ранее разработанные нами способ получения многослойных композиционных волокнистых материалов и устройство для его осуществления [2].

При разработке и теоретическом исследовании оборудования для получения многослойных волокнистых материалов [1] учитывались различные факторы, влияющие в том числе на<sup>^</sup>

- рассортировку волокон в рабочей камере [3];
- степень разрыхленности волокнистой массы, поступающей в бункер разработанного оборудования [4], [5];
- процесс движения волокнистой массы в бункере;
- выравнивающую способность бункера [6], [7].

Следует отметить, что большую роль в качественной рассортировке волокон и получении многослойных волокнистых материалов играет работа узла подачи волокон в рабочую камеру [1]. Оказалось, что размеры канала аэросъема волокон с гарнитуры вращающегося пильчатого барабана, рассчитанные по методике, изложенной в [8], не вписываются в пространство под барабаном. Отметим, что в [1] изучали такую схему аэродинамического съема волокон с зубьев гарнитуры вращающегося пильчатого барабана, когда разводка между окружностью барабана и ограждением канала аэросъема имела постоянное значение? и, следовательно, средняя скорость воздуха в этом узле также была неизменной. С целью сокращения дуги аэросъема [2] до приемлемых размеров была использована иная конструкция узла аэросъема, в которой канал аэросъема имеет конфузурную форму. В этом случае ускоряющийся воздушный поток создает дополнительную аэродинамическую силу, действие которой приводит к сокращению дуги аэросъема.

Ниже приводится исследование механики одиночного волокна в канале аэросъема конфузурного типа и разработка на этой основе методики расчета углового размера канала аэросъема (дуги аэросъема).

На рис. 1 представлена схема сил, действующих при аэросъеме на волокно. Обозначим массу волокна через  $M_v$ . Ось  $Ox$  системы координат  $Oxy$  совпадает с линией рабочей грани зуба. Центр масс волокна расположен в точке  $M$  на оси  $Ox$ .

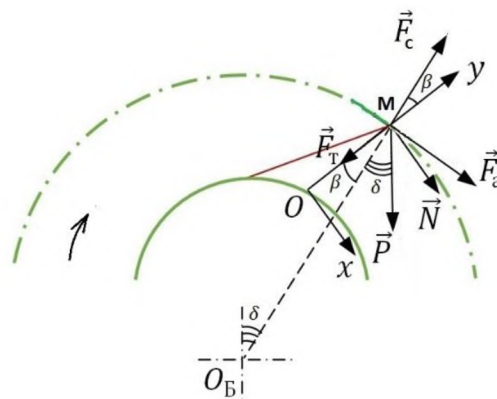


Рис. 1

Координаты центра масс волокна обозначим через  $x$  и  $y$ . Расстояние от точки  $O_B$  до точки  $M$  равно радиусу барабана  $R_B$ . Примем угловую скорость барабана за  $\omega$ . Если высоту зуба обозначить через  $h_z$ , а через  $\beta$  – угол наклона передней грани зуба, то длина рабочей грани зуба выражается формулой:

$$\ell_p = h_z \sin \beta. \quad (1)$$

Примем согласно [9], [10], что сила аэродинамического сопротивления волокна определяется формулой:

$$\vec{F}_a = 0,5c_D \rho_a S |\vec{v}_a - \vec{v}| (\vec{v}_a - \vec{v}), \quad (2)$$

где  $S = D_v L_v$ ,  $D_v$ ,  $L_v$  – диаметр и длина волокна соответственно;  $c_D$  – коэффициент аэродинамического сопротивления волокна при поперечном обтекании воздушным потоком;  $\rho_a$  – плотность воздуха;  $\vec{v}$  – абсолютная скорость волокна;  $\vec{v}_a$  – вектор скорости воздушного потока;  $Re = 0,5 |\vec{v}_a - \vec{v}| \cdot D_v / \nu_{vis}$  – число Рейнольдса, отнесенное к радиусу волокна;  $\nu_{vis} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  – коэффициент кинематической вязкости для воздуха.

Результаты опытов [11] показали, что при поперечном обтекании воздушным потоком волокна его коэффициент аэродинамического сопротивления вычисляется по формулам:

$$c_D = \begin{cases} \frac{4}{Re} (1/G + 1,5772/G^2), \\ \text{где } G = \ln(4 Re_L / Re^2); Re_L = (\vec{v}_a - \vec{v})L_v/v_{vis}; \text{ при } 0 \leq Re \leq 10; \\ 0,27 Re^{-0,61} \text{ при } 10 < Re \leq 300. \end{cases}$$

Отметим, что в [12] приведенная выше зависимость для  $c_D$  была применена с целью расчета движения волокон в воздушных потоках в узлах текстильных машин. Вектор аэродинамической силы имеет следующие компоненты:

$$\vec{F}_a = \left[ |\vec{F}_a| \cos \beta; |\vec{F}_a| \sin \beta \right]. \quad (3)$$

Модуль центробежной силы  $\vec{F}_c$  определяется по формуле:

$$|\vec{F}_c| = M_v \omega^2 R_B, \quad (4)$$

а компоненты вектора  $\vec{F}_c$  находятся из следующей формулы:

$$\vec{F}_c = \left[ -|\vec{F}_c| \sin \beta; |\vec{F}_c| \cos \beta \right]. \quad (5)$$

Принимая во внимание, что волокно во время аэросъема движется по рабочей

$$N = -M_v g \sin(\beta + \delta) + M_v \omega^2 R_B \sin \beta - |\vec{F}_a| \cos \beta. \quad (10)$$

Обозначим через  $k$  коэффициент трения

$$M_v \ddot{y} = M_v g [k \sin(\beta + \delta) - \cos(\beta + \delta)] + M_v \omega^2 R_B [\cos \beta - k \sin \beta] + |\vec{F}_a| [\sin \beta + k \cos \beta]. \quad (11)$$

Очевидно, что решение уравнения (11) следует получить при следующих начальных условиях:

1) при  $t = 0$  центр масс волокна находится в точке  $y = 0$ ;

Вектор силы тяжести имеет компоненты:

$$\vec{P} = [M_v g \sin(\beta + \delta); -M_v g \cos(\beta + \delta)], \quad (6)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\delta$  – угол между лучом  $MO_B$  и вертикалью (рис. 1).

Сила трения направлена по рабочей грани зуба:

$$\vec{F}_T = [0; -|\vec{F}_T|], \quad (7)$$

а сила нормального давления – перпендикулярно рабочей грани:

$$\vec{N} = [|\vec{N}|; 0]. \quad (8)$$

В соответствии со вторым законом Ньютона движение волокна моделируется следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} M_v \ddot{x} &= N + M_v g \sin(\beta + \delta) - M_v \omega^2 R_B \sin \beta + |\vec{F}_a| \cos \beta; \\ M_v \ddot{y} &= -F_T - M_v g \cos(\beta + \delta) + M_v \omega^2 R_B \cos \beta + |\vec{F}_a| \sin \beta. \end{aligned} \quad (9)$$

грани зуба ( $\ddot{x} = 0$ ), имеем

волокна о сталь. Так как  $F_T = kN$ , то

2) при  $t = 0$  скорость центра масс волокна равна нулю  $\dot{y} = 0$ .

Далее условия для решения (11) выбираем из следующих соображений. Обозначим

чим дугу аэросъема через  $\epsilon$ , а время аэросъема  $\Delta t$ . За время  $\Delta t$  пыльчатый барабан повернется на угол  $\epsilon$ , а волокно переместится по рабочей грани зуба от основания зуба до его кончика, то есть на расстояние  $\ell_p$ . Следовательно, задача численного моделирования заключается в том, чтобы, задаваясь необходимым значением величины дуги аэросъема  $\epsilon$ , подобрать такое значение расхода воздуха в канале аэросъема и такое его сужение, чтобы за время  $\Delta t = \epsilon/\omega$  центр масс волокна преодолел расстояние, равное  $\ell_p$ .

## ВЫВОДЫ

1. Получено дифференциальное уравнение, моделирующее процесс аэросъема волокна ускоряющимся потоком воздуха с зуба гарнитуры вращающегося пыльчатого барабана.

2. Разработана методика вычисления дуги аэросъема.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2471897 Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Г.А. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, И.Г. Хосровян, Т.В. Жегалина. – Оpubл. 10.01.2013.

2. Пат. 2595992 Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Г.А. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, М.А. Тувин, И.Г. Хосровян. – Оpubл. 05.08.2016.

3. Тувин М.А., Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Математическое моделирование аэродинамической рассортировки волокон в устройстве для получения многослойных нетканых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С. 119...122.

4. Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Общая теория динамики волокнистых комплексов в процессе их взаимодействия с рабочими органами разрыхлителя // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 6. С. 194...197.

5. Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Математическое моделирование движения волокнистого комплекса на колке барабана разрыхлителя // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 4. С. 85...88.

6. Тувин М.А., Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А., Тувин А.А. Математическое моделирование процесса движения волокнистой смеси в бун-

керном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №2. С. 83...87.

7. Хосровян И.Г., Хосровян А.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №6. С.79...82.

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

9. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. – Ч.1, 2. – М.: Высшая школа, 1980.

10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1973.

11. Gould J. and Smith F.S. (1980). Air-drag on Synthetic-fiber Textile Monofilaments and Yarns in Axial-flow at Speeds of Up to 100 Meters Per Second // Journal of the Textile Institute. – 71(1), 1980. P. 38...49.

12. Cai Y. Computer Modeling of Fiber Motion in High-speed Airflow. PhD thesis. – North Carolina State University, 2003.

## REFERENCES

1. Pat. 2471897 Rossijskaja Federacija. Sposob poluchenija mnogoslojnyh voloknistyh materialov i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / G.A. Hosrovjan, A.G. Hosrovjan, T.Ja. Krasik, I.G. Hosrovjan, T.V. Zhegalina. – Opubl. 10.01.2013.

2. Pat. 2595992 Rossijskaja Federacija. Sposob poluchenija mnogoslojnyh voloknistyh materialov i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / G.A. Hosrovjan, A.G. Hosrovjan, T.Ja. Krasik, M.A. Tuvin, I.G. Hosrovjan. – Opubl. 05.08.2016.

3. Tuvin M.A., Hosrovjan I.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan G.A. Matematicheskoe modelirovanie ajerodinamicheskoj rassortirovki volokon v ustrojstve dlja poluchenija mnogoslojnyh netkanyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, № 6. S. 119...122.

4. Hosrovjan I.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan G.A. Obshhaja teorija dinamiki voloknistyh kompleksov v processe ih vzaimodejstvija s rabochimi organami razryhlitelja // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2012, № 6. S. 194...197.

5. Hosrovjan I.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan G.A. Matematicheskoe modelirovanie dvizhenija voloknistogo kompleksa na kolke barabana razryhlitelja // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 4. S. 85...88.

6. Tuvin M.A., Hosrovjan I.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan G.A., Tuvin A.A. Matematicheskoe modelirovanie processa dvizhenija voloknistoj smesi v bunnom pitatele s peremennoj ploshhad'ju poperechnogo sechenija shahty // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №2. S. 83...87.