

УДК [677.02+677.05]:533.6

DOI 10.47367/0021-3497\_2024\_3\_202

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ  
ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СЪЕМА****THEORETICAL STUDIES OF OPTIMAL CONDITIONS  
OF AERODYNAMIC REMOVAL PROCESS***И.Г. ХОСРОВЯН<sup>1</sup>, С.А. РОДИОНОВ<sup>1</sup>, А.А. ХОСРОВЯН<sup>2</sup>, Д.А. ПИРОГОВ<sup>1</sup>,  
Г.А. ХОСРОВЯН<sup>1</sup>**I.G. KHOSROVYAN<sup>1</sup>, S.A. RODIONOV<sup>1</sup>, A.A. KHOSROVYAN<sup>2</sup>, D.A. PIROGOV<sup>1</sup>,  
G.A. KHOSROVYAN<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Ивановский государственный политехнический университет,<sup>2</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет)<sup>1</sup>Ivanovo State Polytechnic University,<sup>2</sup>Ivanovo State University of Chemistry and Technology)

E-mail: khosrovyan\_haik@mail.ru

*Рассматривается поведение одиночных волокон при аэродинамическом съеме в оборудовании для разрыхления, рассортировки и транспортировки в зависимости от угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока, частоты вращения барабана и др. Выполнены теоретические исследования сил, действующих на свободную часть волокна, находящегося в межвитковом пространстве в зоне аэродинамического съема. Определена длина свободной части волокна, не контактирующей с гарнитурой, при которой происходит аэродинамический съем волокна. Обозначена область наиболее вероятного съема одиночных волокон с зуба гарнитуры рабочего барабана оборудования для разрыхления, рассортировки и транспортировки.*

*The behavior of single fibers during aerodynamic removal in equipment for loosening, sorting and transportation is considered, depending on the angle of inclination of the headset tooth, airflow velocity, drum rotation frequency, etc. Theoretical studies of the aerodynamic removal zone have been carried out in order to determine the conditions of aerodynamic removal of the fiber located in the inter-turn space, depending on the forces acting on the free part of the fiber, as well as to determine the length of the free part of the fiber not in contact with the headset, at which the aerodynamic removal of the fiber occurs. The area of the most probable removal of single fibers from the tooth of the drum set of equipment for loosening, sorting and transportation is indicated.*

**Ключевые слова:** одиночное волокно, аэродинамический съем, пыльчатая гарнитура, воздушный поток, свободная часть волокна.

**Keywords: single fiber, aerodynamic removal, saw-toothed fillet, airflow, free part of the fiber.**

Как известно, при переработке натуральных, химических волокон или их смесей рациональный выбор типа и параметров гарнитуры рабочих органов разрыхлителя обеспечивает необходимые условия протекания процесса съема волокон с гарнитуры, что в свою очередь оптимизирует количество потерь пряжмых волокон в отходы и улучшает процесс выделения сорных примесей и пороков [1...4].

В условиях аэродинамического съема волокон при разволокнении полуфабриката из котонизированных и/или регенерированных волокон выделение сорных примесей и пороков происходит под воздействием механических и аэродинамических сил на волокна при их съеме (рис. 1) [5...7].

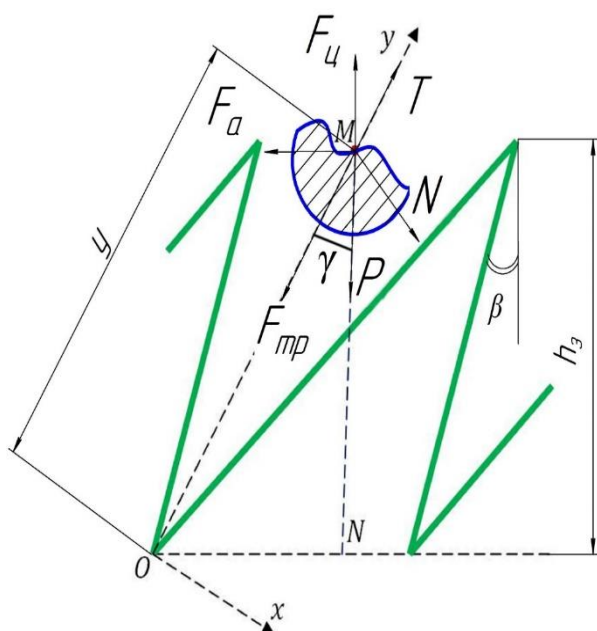


Рис. 1

Наибольшее влияние на условия протекания этого процесса оказывают интегральные (многокомпонентные) силы, действующие на волокно. В соответствии с рис. 1 уравнение равновесия волокна на зубе гарнитуры под их действием имеет вид:

$$\vec{T} + \vec{F}_c + \vec{F}_a + \vec{F}_{тр} = 0. \quad (1)$$

$T$  – сила, которая возникает вследствие контакта волокна и воздушного потока, определяемого разностью между скоростью воздушного потока в гарнитуре и скоростью свободного витания волокна, и стремится снять волокно с барабана. Очевидно, что эта сила будет зависеть от величины той части волокна, которая не контактирует с гарнитурой барабана. И чем больше будет эта часть, тем легче будет проходить аэродинамический съем.

Силу  $T$  можно определить по формуле:

$$T = \frac{(V_2 - V_1)^2}{2} L_B^{CB} 2\pi r_B \rho, \quad (2)$$

где  $r_B = 6 \cdot 10^{-6}$  – радиус поперечного сечения волокна, м;  $L_B^{CB} = 0,002 \div 0,032$  – длина свободной части волокна, взаимодействующей с воздушным потоком, м;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $(V_2 - V_1)$  – скорость воздушного потока относительно волокна, м;  $V_1$  – скорость свободного витания волокна, м;  $V_2$  – скорость воздушного потока на поверхности барабана (в гарнитуре), м/с.

Сила трения  $F_{тр}$  между волокном и зубом гарнитуры определяется:

$$F_{тр} = \mu N, \quad (3)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения хлопка по стали;  $N$  – нормальная реакция зуба на давление волокна, Н.

Сила  $N$  зависит от площади контакта гарнитуры и волокна, коэффициента трения между ними. Соответственно, та часть волокна, которая контактирует с гарнитурой, будет определять силу, удерживающую волокно на гарнитуре. Полагая, что волокно может максимально касаться гарнитуры частью своей длины, находящейся внутри нее, площадь контакта можно определить по формуле:

$$S = L_B^b \pi r_B, \quad (4)$$

где  $L_B^b = 0,002 \div 0,032$  – часть волокна, находящаяся в гарнитуре барабана, м.

Вес волокна значительно меньше, чем центробежная сила  $\vec{F}_{ц}$ , поэтому его в расчетах не учитываем, но принимаем, что все силы приложены к центру масс волокна и ось Y расположена посередине между рабочей и задней гранями зубьев, а ось X перпендикулярна оси Y.

Центробежную силу  $\vec{F}_c$  представляется возможным определить из выражения (5), рассчитав массу волокна по формуле (6):

$$\frac{m_B V_B^2}{(R_6 + h_3)}, \quad (5)$$

$$m_B = L_B^6 \rho \pi r_B^2, \quad (6)$$

где  $m_B$  – масса волокна, кг;  $\rho = 1,5 \cdot 10^{-3}$  – объемная плотность хлопкового волокна, кг/м<sup>3</sup>;  $V_B$  – окружная скорость волокна на гарнитуре, м/с;  $R_6 = 0,117$  – радиус барабана, м;  $L_B = 0,032$  – длина волокна, м;  $h_3 = 0,004$  – высота зуба гарнитуры, м.

Окружную скорость  $V_B$  определим по формуле:

$$V_B = \omega_6 (R_6 + h_3), \quad (7)$$

где  $\omega_6 = \pi \cdot n_6 / 30$  – угловая скорость вращения барабана, с<sup>-1</sup>;  $n_6 = 2000$  – частота вращения барабана, об/мин.

Условие аэродинамического съема волокна с гарнитуры можно выразить зависимостью:

$$T + F_{ц} \geq F_{тр} + F_a. \quad (8)$$

Одной из важных задач является определение силы аэродинамического съема и выявление конструктивных особенностей оснастки оборудования.

Определим аэродинамическую силу по формуле (9), полученной в [8...10]:

$$F_a = \frac{m_B g |k_a - 1| [k_a - 1] V_B^2}{V_{вит}^2}, \quad (9)$$

где  $m_B = 6 \cdot 10^{-6}$  – масса волокна (при линейной плотности единичного волокна 0,2 текс), кг;  $g = 9,81$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $V_B$  – окружная скорость на зубе гарнитуры барабана, м/с;  $k_a = 1,2$  –

коэффициент;  $V_{вит} = 0,05$  – скорость витания хлопкового волокна, м/с.

Результаты вычислений параметров  $T, F_{ц}, F_{тр}$ , в том числе  $F_a$  по зависимости (9), демонстрируют оптимальные соотношения длин части волокна, контактирующей с гарнитурой, и свободной его части (рис. 2).

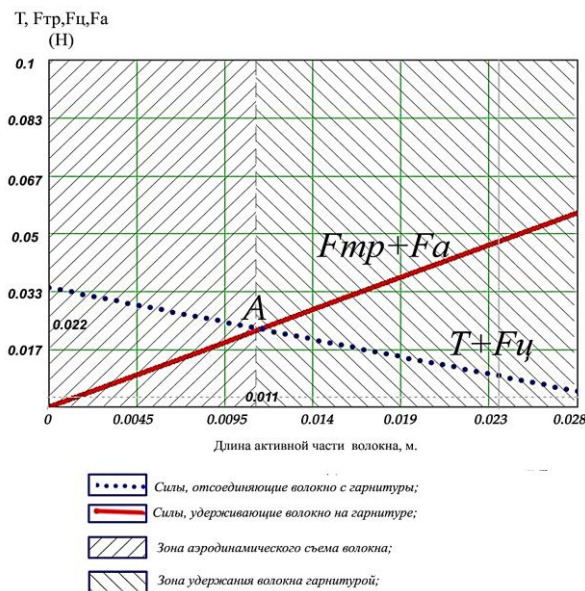


Рис. 2

Для определения сил  $F_{тр}$  и  $F_{ц}$  в расчет берется длина той части волокна, которая контактирует с гарнитурой, а для сил  $F_a$  и  $T$  в расчет берется длина оставшейся части волокна, которая не вошла в контакт с гарнитурой (текущая длина).

Анализируя результаты расчетов (рис. 2), можно констатировать, что аэродинамический съем волокна присутствует, когда длина свободной части волокна составляет более 11 мм, при меньшей длине свободной части волокна будут расти силы  $T$  и  $F_{ц}$ . С увеличением длины части волокна, которая контактирует с барабаном, соответственно будут расти сила трения и сила  $F_a$ , которая прижимает волокно к барабану. В таком случае съема наблюдаться не будет. Точка А на рис. 2 характеризует начало процесса съема волокна и обозначает по оси абсцисс границу разделения процесса на области аэродинамического съема и зону удержания волокна в зависимости от его длины, а по оси ординат равенство сил

удерживающих и сил, снимающих волокно с гарнитуры барабана.

В наших исследованиях [9, 10] была получена математическая зависимость для расчета аэродинамической силы (10), позволяющая учесть угол наклона зуба гарнитуры, скорость воздушного потока, частоту вращения барабана и др.:

$$F_a = \frac{m_v g [v_{ac} - \omega_6 (R_6 - h_3 + y \cos \gamma) - v \sin \gamma]^2}{V_{\text{вит}}^2}, \quad (10)$$

где  $v_{ac}$  – средняя скорость воздуха в аэросъемном канале;  $v$  – скорость центра масс волокнистого комплекса;  $\gamma$  – угол между осью  $O_y$  и перпендикуляром к основанию зуба;  $y = h_3 / \cos \beta$  – координата центра масс волокнистого комплекса, отсчитываемая от основания зуба.

На рис. 3 представлены результаты расчетов параметров  $T, F_{\text{ц}}, F_{\text{тр}}$  и  $F_a$  по зависимости (10). Баланс сил, определяемый зависимостью (8), и характеризующие его величины показывают, что при изменении (увеличении) угла  $\beta$  (линии в виде точек) удерживающие силы  $F_{\text{тр}}$  и  $F_a$  будут увеличиваться вследствие увеличения контакта волокна и гарнитуры, а величина зоны аэродинамического съема уменьшаться.

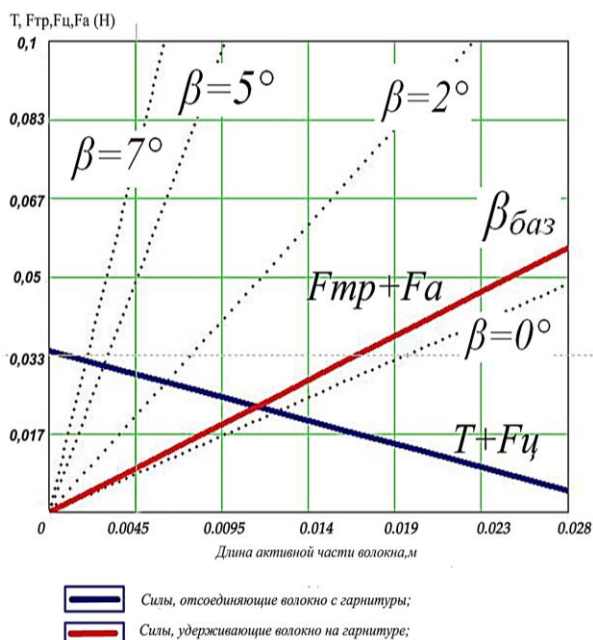


Рис. 3

1. Рассмотрено поведение одиночных волокон при аэродинамическом съеме в оборудовании для разрыхления, рассортировки и транспортировки в зависимости от угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока, частоты вращения барабана и др.

2. Выполнены теоретические исследования для определения условий аэродинамического съема волокна, находящегося в межвитковом пространстве, в зависимости от сил, действующих на свободную часть волокна. Определена длина свободной части волокна, не контактирующей с гарнитурой, при которой происходит аэродинамический съем волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А.И. Технологический комплекс котонизации короткого льняного волокна // Текстильная промышленность. 1997. № 5.
2. Wang Ed.Y. Recycling in textiles. Woodhead Publishing Ltd. England, 2006, pp. 230.
3. Труевцев Н.Н., Легезина Г.И., Аснис Л.М. Расширение области применения коротковолокнистого низкономерного льна // Текстильная промышленность. 1995. № 4-5.
4. Chun D., Foulk J., Mcalister D. Testing for anti-bacterial properties of cotton/flax denim // Industrial Crops and Products. 29(2-3). pp. 371...376. – DOI:10.1016/j.indcrop.2008.07.009.
5. Родионов С.А., Хосровян А.Г., Жукова А.А. и др. Инновационные разработки теории и технологии производства одиночной и крученной пряжи с содержанием льноволокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №4. С. 96...108.
6. Cai Y. Computer Modeling of Fiber Motion in High-speed Airflow. PhD thesis, North Carolina State University, 2003, 147 p.
7. Ларин И.Ю., Капитанов В.В., Красик Я.М., Клёмин Н.Н. Теоретическое исследование параметров устройства аэросъема остаточного слоя волокон с гарнитуры приемного барабана // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2007. № 4 (299). С. 29...30.
8. Павлов Г.Г. Применение аэродинамики в технологических процессах текстильной промышленности. М., 1972. 86 с.
9. Хосровян А.Г., Тувин М.А., Красик Т.Я. и др. Математическая модель движения волокна при его съеме ускоряющимся воздушным потоком с гарнитуры вращающегося пильчатого барабана // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 2. С. 185...188.

10. Хосровян А.Г., Хосровян И.Г., Хосровян Г.А. Движение волокнистых комплексов в процессе их аэродинамического съема в камере распределения // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. Ч. 1. №3 (105). С. 84...88.

#### REFERENCES

1. Smirnov A.I. Technological complex of cotozation of short flax fiber // Textile industry. 1997. № 5.

2. Recycling in textiles. Ed. Y. Wang. Woodhead Publishing Ltd. England, 2006, P. 230.

3. Truevtsev N.N., Legezina G.I., Asnis L.M. Expansion of the application area of short-fiber low-textured flax // Textile industry. 1995. № 4-5.

4. Chun D., Foulk J., Mcalister D. Testing for antibacterial properties of cot-ton/flax denim. Industrial Crops and Products. 29(2-3). P. 371...376. – DOI:10.1016/j.indcrop.2008.07.009.

5. Rodionov S.A., Khosrovyan A.G., Zhukova A.A. etc. Innovative developments in the theory and technology of production of single and twisted yarn containing flax fibers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. №4. P. 96...108.

6. Cai Y. Computer Modeling of Fiber Motion in High-speed Airflow. PhD thesis, North Carolina State University, 2003, 147 p.

7. Larin I.Yu., Kapitanov V.V., Krasik Y.M.; Klyomin N.N. Theoretical study of the parameters of the device for aero-removal of the residual fiber layer from the receiving drum headset (in Russian) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2007. № 4 (299). P. 29...30.

8. Pavlov G.G. Application of aerodynamics in technological processes of textile industry. Moscow, 1972. 86 p.

9. Khosrovyan A.G., Tuvin M.A., Krasik T.Ya. etc. Mathematical model of the fiber movement at its removal by the accelerating air stream from the rotating sawing drum headset // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. № 2. P. 185...188.

10. Khosrovyan A.G., Khosrovyan I.G., Khosrovyan G.A. Movement of fiber complexes in the process of their aerodynamic removal in the distribution chamber // International Research Journal. 2021, Part 1. №3 (105). P. 84...88.

Рекомендована кафедрой мехатроники и радиоэлектроники ИВГПУ. Поступила 20.05.24.