

УДК 677.022.4

А. В. ЛОКТИОНОВ, В. Г. БУТКЕВИЧ, А. С. ЛЕБЕДКИН, Е. А. ФЁДОРОВА
Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЛАТЕКСНЫХ ОПЛЕТЕННЫХ НИТЕЙ

Предложена конструкция машины, реализующей технологический процесс получения латексных оплетенных нитей. Исследован процесс натяжения обкруточного компонента. Получена зависимость силы натяжения от основных кинематических параметров оборудования. Аналитически исследован процесс наложения химической нити на нить сердечника. Определены силы, действующие на сердечник со стороны обвивочного слоя. Получены аналитические выражения радиальной и тангенциальных сил, действующих на сердечник при различных режимах работы оборудования.

Введение. Латекс является природным материалом, особенностью которого является его высокая растяжимость (закупается в Малайзии, Тайване, Филиппинах). Латексные оплетенные нити используются в текстильной промышленности для производства чулочно-носочных изделий и изделий технического назначения (например, строительные перчатки, бахилы). В Республике Беларусь до 2015 года единственным предприятием, производящим латексные оплетенные нити для собственного потребления, было ОАО «КИМ», г. Витебск. В настоящее время такие нити в Республике Беларусь не производятся и закупаются потребителями за рубежом (Китай, Тайвань, Турция, Россия). Они дороги (260–600 RUB за кг), так как процесс их получения включает несколько технологических переходов. Работа с латексом требует соблюдения высоких технологических стандартов, которые затруднительно соблюдать на имеющемся в Республике Беларусь оборудовании. Поэтому качество получаемых в конечном итоге изделий не соответствует требованиям потребителя.

Оценка технологического процесса получения нитей. Технология формирования нитей определяется тем, что процесс прядения непрерывен, волокна имеют различную длину, хаотично расположены в продукте и связаны между собой силами трения и сцепления. При формировании многокомпонентных нитей фактор натяжения выступает главным ограничителем по условиям скоростных возможностей процесса. Обрывность нити резко возрастает с увеличением скорости ее формирования. Неравномерность распределения линейной плотности нити, прочностные характеристики волокон, приближение натяжения нити к его критическим значениям определяют вероятность ее разрыва.

Влияние силовых факторов на натяжение нитей. В работах [1, 2] выделяются пять сил, формирующих натяжение нити: центробежная $F_{ц}$, Кориолиса, аэродинамическая F_a , тяжести пряжи G , начального натяжения нити F_c в точке схода нити. При определении аэродинамической силы практически сложно описать геометрические характеристики волокнистых структур [1, 3].

В работе [2] при определении натяжения радиального участка пряжи учитывается только центробежная сила, принимая во внимание, что все остальные силы на порядок меньше. В книгах [4, 5] отмечается, что действующая на пряжу аэродинамическая сила по своему численному значению соизмерима с центробежной. При определении натяжения пряжи в процессе ее формирования нельзя пренебрегать аэродинамической силой. Вопросы комплексного влияния всех сил на натяжение нити в работах [1–5] не рассматриваются. Технологический процесс получения оплетенных латексных нитей до конца не разработан. Необходимо аналитическое исследование и разработка технологического процесса и оборудования для получения латексных оплетенных нитей широкого диапазона линейных плотностей.

Технологический процесс получения оплетенных латексных нитей.

В технологическом процессе получения латексных нитей предусмотрено: деление ленты латексных нитей на одиночные стренги; подача элементарных стренг в рабочую зону веретен; формирование многокомпонентной латексной оплетенной нити; формирование бобины с нитью.

В соответствии с технологическим процессом в конструкции машины для формирования латексных оплетенных нитей (рисунок 1) предусмотрены: 1 – прутки для предварительного натяжения ленты, 2 – питающая пара, 3 – гребёнка-делитель, 4 – оттяжная пара, 5 – направляющий вал, 6 – вторая питающая пара, 7, 8 – полые веретена, 9 – подшипниковые узлы, 10 – направляющие глазки, 11, 12 – катушки с нитями оплетки, 13 – вытяжная пара, 14 – направляющий пруток, 15 – нитераскладчик, 16 – мотальный барабан.

Технологический процесс заключается в следующем. Лента латексных нитей (состоит из 40 элементарных стренг) 17 поступает из коробки 18, распрямляется и получает предварительное натяжение при движении через прутки 1. Питающая пара 2 подает ленту к гребенке 3, где она разделяется на 40 элементарных нитей 19 и выводится оттяжной парой 4, поступает при помощи направляющего вала 5 и питающей пары 6 к полюму веретена 7. Полое веретено 7 вращается на подшипниках 9. На полых веретенах 7 и 8 установлены катушки с нитями оплетки 11 и 12. Латексная нить 19 проходит через канал веретена 20 и в зоне глазка 10 к ней прикручивается нить оплетки 21. Сформированный продукт проходит через канал 25 полого веретена 8 и в зоне глазка 10 к нему прикручивается нить оплетки 22, где и получается латексная оплетенная нить 23. Эта нить вытяжной парой 13 через пруток 14 и раскладчик 15 поступает на барабан 16, который формирует бобину 24.

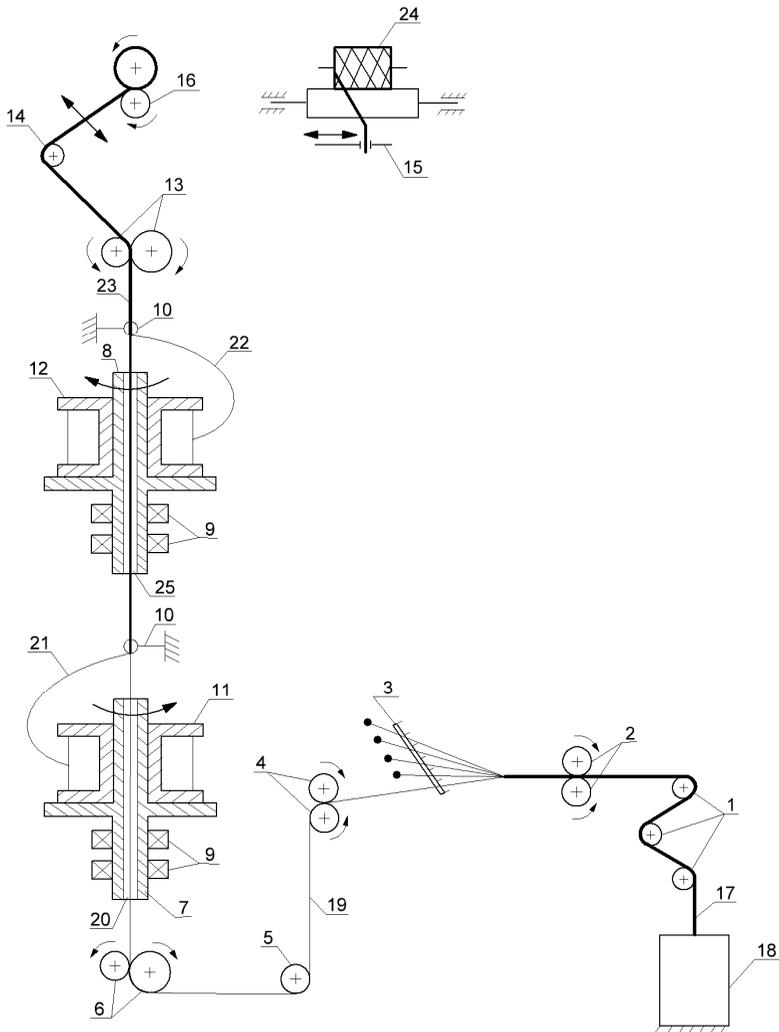


Рисунок 1 – Конструктивная схема машины для получения латексных оплетенных нитей

Главным показателем стабильности технологического процесса является обрывность многокомпонентной нити. Основным местом обрыва является зона нитенаправляющего глазка, где нить оплетки сматывается с катушки и обкручивает латексную нить. Катушка с нитью оплетки, установленная на полом веретене, представлена на рисунке 2.

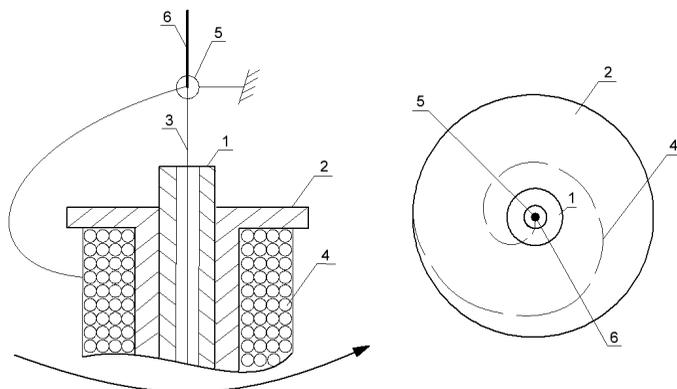


Рисунок 2 – Катущка на веретене:

1 – полое веретено; 2 – катушка для нити оплетки; 3 – латексная нить;
4 – химическая нить; 5 – глазок нитенаправителя; 6 – оплетенная нить

Аналитический расчет суммарной нагрузки на радиальный участок нити. Элемент нити длиной d_l и массой dm в месте схода нити оплетки с катушки движется по спирали с переменным шагом. Это движение можно представить как сумму двух движений: спиральное движение в плоскости XOY (рисунок 3), и поступательное вдоль оси Z .

Для описания движения нити в плоскости XOY используем функцию

$$\rho = \frac{A}{\varphi_0 + \varphi},$$

где ρ – текущий радиус элемента в плоскости XOY ; φ – угол поворота в момент t при равномерном вращении катушки с угловой скоростью $\omega = \text{const}$; φ_0 – начальный угол поворота; A – константа, определяемая из начальных условий.

При $t = 0$, $\rho = R$ элемент нити находится в точке схода с катушки и начинает движение при повороте на угол φ_0 (рисунок 3), поэтому: $\varphi_0 = A/R$, $A = L$ – длина элемента нити. Окончательно, с учётом указанных начальных условий

$$\rho = \frac{LR}{R\omega t + L}. \quad (1)$$

В соответствии с формулой (1) построена траектория движения элемента нити в районе глазка (см. рисунок 3). Координаты элемента нити массой dm в плоскости XOY (рисунок 4)

$$x = \rho \cos \varphi = \frac{LR}{R\omega t + L} \cos \omega t, \quad y = \rho \sin \varphi = \frac{LR}{R\omega t + L} \sin \omega t.$$

Проекции вектора скорости элемента нити на оси X и Y

$$V_x = -\frac{LR^2\omega}{(R\omega t + L)^2} \cos \omega t - \frac{LR\omega}{R\omega t + L} \sin \omega t, \quad V_y = -\frac{LR^2\omega}{(R\omega t + L)^2} \sin \omega t + \frac{LR\omega}{R\omega t + L} \cos \omega t.$$

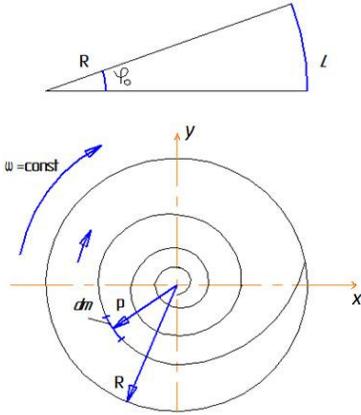


Рисунок 3 – Траектория движения элемента нити при ее сходе с катушки и движении к глазу нитенаправителя

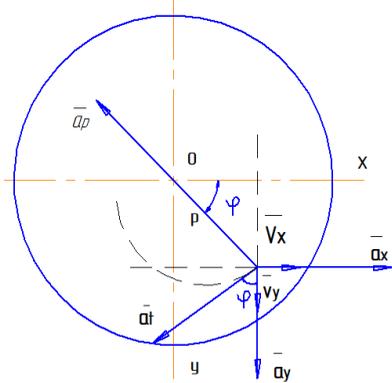


Рисунок 4 – Скорость и ускорение элемента нити в плоскости XOY

Вектор скорости элемента нити \vec{V}_a разложим на три составляющие:

$$\vec{V}_a = \vec{V}_x + \vec{V}_y + \vec{V}_z, \quad \vec{V}_a = \vec{V}_\rho + \vec{V}_\tau + \vec{V}_z,$$

здесь \vec{V}_ρ , \vec{V}_τ – проекции вектора скорости \vec{V}_a на направление радиуса ρ и касательной τ траектории движения в плоскости XOY; \vec{V}_z – проекция вектора скорости \vec{V}_a на ось Z; \vec{V}_x и \vec{V}_y – проекция вектора скорости на оси X, Y.

С другой стороны

$$V_x = -V_\rho \cos \omega t - V_z \sin \omega t, \quad V_y = V_\tau \cos \omega t - V_\rho \sin \omega t.$$

Сопоставляя коэффициенты при соответствующих тригонометрических функциях, получим

$$V_\rho = -\frac{LR^2\omega}{(R\omega t + L)^2}, \quad V_\tau = \frac{LR\omega}{R\omega t + L}.$$

Проекция вектора скорости \vec{V} на ось Z

$$V_z = \sqrt{V^2 - V_x^2 - V_y^2} = \sqrt{V^2 - V_\rho^2 - V_\tau^2},$$

$$V_z = \sqrt{V^2 - \left(-\frac{LR^2\omega}{(R\omega t + L)^2}\right)^2 - \left(\frac{LR\omega}{R\omega t + L}\right)^2} = \sqrt{V^2 - \left(\frac{LR\omega}{R\omega t + L}\right)^2 \left[\left(\frac{R}{R\omega t + L}\right)^2 + 1\right]}.$$

Здесь V – абсолютная скорость элемента нити, т. е. скорость, с которой сформированная многокомпонентная нить выходит из зоны формирования.

Вектор ускорения элемента нити \vec{a} также разложим на составляющие

$$\bar{a}_a = \bar{a}_x + \bar{a}_y + \bar{a}_z, \quad \bar{a}_a = \bar{a}_\rho + \bar{a}_\tau + \bar{a}_z.$$

Индексы здесь имеют тот же смысл, что и соответствующие проекции вектора абсолютной скорости, причем

$$\begin{aligned} a_x = \dot{V}_x &= \frac{L R^2 \omega^2}{(R\omega t + L)^2} \sin \omega t - \frac{L R \omega^2}{R\omega t + L} \cos \omega t + 2 \frac{L R^3 \omega^2}{(R\omega t + L)^3} \cos \omega t + \frac{L R^2 \omega^2}{(R\omega t + L)^2} \sin \omega t, \\ a_y = \dot{V}_y &= -\frac{L R^2 \omega^2}{(R\omega t + L)^2} \cos \omega t - \frac{L R \omega^2}{R\omega t + L} \sin \omega t + 2 \frac{L R^3 \omega^2}{(R\omega t + L)^3} \sin \omega t - \frac{L R^2 \omega^2}{(R\omega t + L)^2} \cos \omega t. \end{aligned} \quad (2)$$

При этом (см. рисунок 4) имеет место соотношение

$$a_x = -a_\tau \sin \omega t - a_\rho \cos \omega t, \quad a_y = a_\tau \cos \omega t - a_\rho \sin \omega t. \quad (3)$$

Сравнивая (2) и (3) получим

$$a_\tau = -\frac{2LR^2\omega^2}{(R\omega t + L)^2}, \quad a_\rho = \frac{LR\omega^2}{R\omega t + L} \left[\frac{2R^2}{(R\omega t + L)^2} - 1 \right].$$

Дифференцируя по времени выражение проекции V_z , имеем

$$a_z = \dot{V}_z = \frac{L^2 R^3 \omega^3}{(R\omega t + L)^3} \frac{1 + \frac{2R^2}{(R\omega t + L)^2}}{\sqrt{V^2 - \left(\frac{LR\omega}{R\omega t + L} \right)^2 \left[\frac{R^2}{(R\omega t + L)^2} + 1 \right]}}.$$

По полученным параметрам ускорения находим проекцию силы, действующей на элемент нити с массой dm ,

$$dF_\tau = 2dm \frac{LR^2\omega^2}{(R\omega t + L)^2} = 2dm \frac{\omega^2}{L} \rho^2.$$

Полученное соотношение показывает, что при фиксированных параметрах ω , L , dm приращение силы натяжения пропорционально квадрату радиуса.

Из выражения приращения радиальной силы

$$dF_\rho = a_\rho dm = dm \frac{LR\omega^2}{R\omega t + L} \left[\frac{2R^2}{(R\omega t + L)^2} + 1 \right] = dmp\omega^2 \left[\frac{2\rho^2}{L^2} + 1 \right]$$

следует, что эта сила, которая и формирует натяжение нити, включает две составляющие:

$$F'_\rho = dmp\omega^2, \quad F''_\rho = 2dm\omega^2 \frac{\rho^3}{L^2}.$$

Слагаемое F''_ρ , соответствующее силе Кориолиса, увеличивается с увеличением ρ . Поэтому не учитывать часть сил, действующих на участок нити, нельзя, так как вместе они дают существенное приращение натяжения.

Определение сил, действующих на сердечник со стороны обвивочного слоя.

Рассмотрим силы, действующие на элемент нити (мычки) длиной ds при соприкосновении с сердечником радиуса r (рисунок 5). Масса выделенного элемента: $dm = \mu ds$, где μ – масса единицы длины (1 см) нити, $\mu = \frac{1}{10^5 N_n}$, где

N_n – номер нити. На освобожденный от связей элемент нити действуют силы натяжения \bar{F}_i и $\bar{F}_i + d\bar{F}_i$, где $dF_i = dm \frac{2\omega^2}{L} r^2 = 2\mu\omega^2 r^2 \frac{ds}{L}$,

поперечная сила инерции массы dm $dF_n = dm\omega^2 r = \mu\omega^2 r ds$, элементарная нормальная реакция сердечника dN ; сила трения $dF_{тр} = fdN$ (f – коэффициент трения нагонного компонента о сердечник).

Уравнения динамического равновесия имеют вид:

$$\sum_{i=1}^n F_{in} = 0, \quad (2F_i + dF_i) \sin \frac{d\lambda}{2} - dF_n - dN = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n F_{it} = 0, \quad (F_i + dF_i) \cos \frac{d\lambda}{2} - F_i \cos \frac{d\lambda}{2} - dF_{тр} = 0.$$

Учитывая, что $\sin \frac{d\lambda}{2} \approx \frac{d\lambda}{2} = \frac{ds}{2r}$ и $\cos \frac{d\lambda}{2} \approx 1$, получим

$$2F_i \frac{ds}{2r} + dF_i \frac{ds}{2r} - \mu\omega^2 r ds - dN = 0,$$

$$dF_i - dF_{тр} = 0. \tag{4}$$

Таким образом $dF_{тр} = dF_i$ или $fdN = 2\mu\omega^2 r^2 \frac{ds}{L}$, откуда получаем

$$dN = \frac{2\mu\omega^2 r^2 ds}{fL}. \tag{5}$$

Подставляя полученное значение dN в уравнение (4), находим

$$F_i \frac{ds}{r} + \mu\omega^2 r^2 \frac{(ds)^2}{2Lr} - \mu\omega^2 r ds - \frac{2\mu\omega^2 r^2 ds}{fL} = 0,$$

$$F_i = \frac{\mu\omega^2 r^2 (fL + 2r)}{fL}. \tag{6}$$

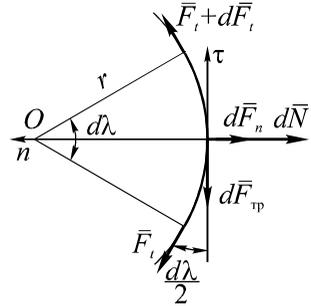


Рисунок 5 – Схема сил, действующих на латексную нить при наложении нити оплетки

Таким образом, формулы (5) и (6) показывают, что при обкручивании сердечника волокнистой мычкой радиальная и тангенциальная силы зависят от линейной плотности мычки, толщины сердечника и угловой скорости обкручивания сердечника мычкой.

Выполнены аналитические исследования, в соответствии с технологической схемой (рисунок 1) получения нитей, при разработке оборудования для производства оплетенных латексных нитей.

Разработка оборудования для производства оплетенных латексных нитей. Для разработки оборудования для производства оплетенных латексных нитей (рисунок 7) в качестве прототипа использована резиноокруточная машина ОРМ-1. Технологическая и конструкторская новизна [6, 7] заключалась в изменении конструкций веретен, тормозных и раскладывающего устройств, узла для формирования бобины с нитью, установки механизма подачи латексной ленты в рабочую зону веретен.

Разработана новая конструкция веретен, в которой ось веретена остается неподвижной, а корпус веретена, с установленной на нем катушкой (см. рисунок 2), вращается, что значительно снижает нагрузки на латексный компонент и стабилизирует технологический процесс в целом. Модернизированное раскладывающее устройство позволяет формировать поковки с нитью (до 2,5 кг) требуемой потребителями формы. Установка механизма для подачи латексной нити в рабочую зону веретен позволила значительно уменьшить ее повреждения.



Рисунок 7 – Машина для производства латексных оплетенных нитей

Выводы. 1 Аналитическими исследованиями установлено, что аэродинамическая сила, сила Кориолиса и сила тяжести существенно влияют на приращение натяжения, и их нельзя исключать при определении суммарного натяжения радиального участка нити.

2 Усилие, действующее на сердечник со стороны обвивочного слоя, зависит от интенсивности навивания его на сердечник, вида волокон, толщины мычки и комплексной химической нити.

3 Установлено, что увеличение линейной плотности многокомпонентной нити за счет обвивочного слоя, а также увеличение частоты вращения веретен

тена приводит к возрастанию радиального усилия на сердечник со стороны обвивочного слоя.

4 Разработанная в соответствии с предложенной конструктивной схемой машина для производства латексных оплетенных нитей используется в производственных условиях России (Санкт-Петербург).

5 Предлагаемая технология позволяет получить латексные оплетенные нити в один технологический переход. При этом подаваемый в зону оплетения чистый латекс повреждается минимально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Рипка, И. Формирование пряжи в прядильной камере безверетенной прядильной машины БД-200 / И. Рипка // Ковоэкспорт (ЧССР). – 1969. – № 5. – С. 3–8.

2 Плеханов, Ф. М. Натяжение пряжи в камере пневмомеханической прядильной машины / Ф. М. Плеханов, А. Ф. Плеханов // Текстильная промышленность. – 1993. – № 6. – С. 32–33.

3 Попов, С. Г. Аэродинамическое сопротивление текстильных нитей / С. Г. Попов, А. М. Комаров, З. П. Случановская // Текстильная промышленность. – 1962. – № 4. – С. 77–83.

4 Павлов, Г. Г. Аэродинамические основы безверетенных способов прядения / Г. Г. Павлов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 167 с.

5 Павлов, Г. Г. Аэродинамика технологических процессов и оборудования текстильной промышленности / Г. Г. Павлов. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 152 с.

6 Локтионов, А. В. Технологические параметры получения нитей с использованием двух полых веретен / А. В. Локтионов, В. Г. Буткевич, Е. К. Ковалевич // Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения (Техтекстиль – 2010) : сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 21–22 января 2010 г. / ДИТУД (филиал) УлГТУ. – Дмитровград, 2010. – С. 199–200.

7 Технология получения меланжевых нитей / А. В. Локтионов [и др.] // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск – 2012) : сборник материалов Межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов, 23–25 апреля 2012 г. : в 2 ч. / ИГТА. – Иваново, 2012. – Ч. 1. – С. 21–22.

A. V. LOKTIONOV, V. G. BUTKEVICH, A. S. LEBYODKIN, E. A. FYODOROVA
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF BRAIDED LATEX THREADS FORMATION

A technological process of the latex braided threads production is proposed. The process of wrapping component tension is investigated. The dependence of tension on the basic kinematic parameters of the equipment operation is obtained. The process of chemical thread apposition on the core thread is analytically researched. The forces acting on the core thread from the casing layer side are determined. The analytical equations for the radial and tangential forces acting the core thread are obtained for different operating conditions of the equipment.

Получено 24.04.2018