

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАТЯЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ПРЯЖИ НА ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЯДИЛЬНОЙ МАШИНЕ

*П.А. Костин, Ю.А. Завацкий, А.Г. Коган, Р.В. Киселев*

Производство комбинированной электропроводящей пряжи является одним из наиболее интенсивно развивающихся современных производств текстильных материалов. Кафедрой ПНХВ УО «ВГТУ» в условиях РУП «БПХО» г. Барановичи разработана новая технология получения комбинированной электропроводящей пряжи по кардной системе прядения хлопка с применением модернизированной пневмомеханической прядильной машины ППМ-120МС с полым ротором, где в качестве сырья используется хлопковое или арселоновое волокно и медная микропроволока. На машине дополнительно установлены датчики контроля обрыва медной микропроволоки и питающие валики, которые служат для подачи и изменения скорости питания медной микропроволоки в зону формирования.

Сущность предложенного способа формирования комбинированной электропроводящей пряжи состоит в том, что в рабочую зону прядильной камеры 4 вместе с дискретным потоком волокон 3 с двухфланцевой катушки 8 при помощи дополнительно установленного узла питания (питающие валики) 7 подается с постоянной скоростью медная микропроволока 6, которая обкручивает формируемую в камере пряжу 5. Медная микропроволока поступает в зону формирования со скоростью, превышающей скорость оттяжки готовой пряжи на 1,5 – 3 %. Полученная комбинированная электропроводящая пряжа 2 выводится из камеры и наматывается на бобину 1 (рисунок 1).

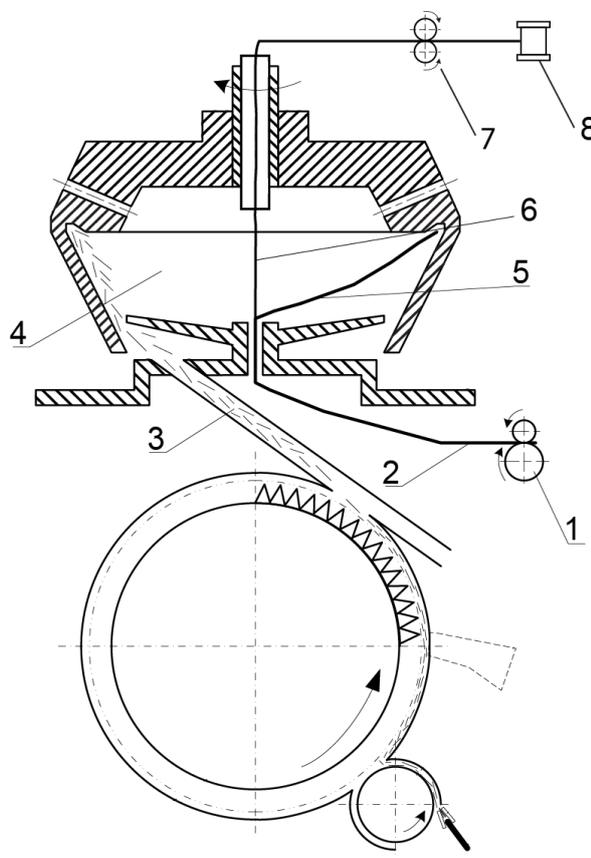


Рисунок 1 – Технологическая схема модернизированной прядильной машины ППМ-120МС

Колебание натяжения пряжи в процессе формирования на пневмомеханических прядильных машинах является основной проблемой при большой частоте вращения ротора, так как оно может привести к снижению качества вырабатываемой пряжи, увеличивая такие показатели, как неровноту по линейной плотности, обрывность и уменьшая разрывное удлинение и разрывную нагрузку пряжи.

Величина натяжения волокнистой ленточки и медной микропроволоки, а затем пряжи создается силами, обусловленными вращательным движением камеры и продольным движением пряжи при оттяжке ее из камеры [1].

Целью данного исследования является получение теоретической модели для прогнозирования натяжения комбинированной электропроводящей пряжи средней линейной плотности при её формировании, учитывающей технологические особенности процесса её производства. Теоретическая модель позволит прогнозировать оптимальные режимы работы оборудования (частоту вращения прядильной камеры и крутку).

Расчёт натяжения проводился с учетом того, что комбинированная электропроводящая пряжа, состоящая из волокон и медной микропроволоки, при формировании имеет участки с разной линейной плотностью, обусловленные особенностями её получения. В связи с этим необходимо учитывать движение волокнистой составляющей до соединения с медной микропроволокой.

Натяжение комбинированной пряжи и ее форма зависят от совокупности внешних воздействующих факторов. На малый участок комбинированной пряжи длиной  $d_r$  между точками А и В (рисунок 2 а) действуют следующие силы: сила тяжести  $G$  (на рисунке не показана); центробежная сила  $F_{ц}$ ; сила Кориолиса  $F_c$ ; аэродинамическая сила  $F_a$ . Обозначим  $T_m$  – линейная плотность мычки;  $T_{к.п.}$  – линейная плотность комбинированной пряжи;  $T_{м.п.}$  – линейная плотность микропроволоки;  $F_n$  – сила натяжения.

Направление действия аэродинамической силы совпадает с направлением скорости воздушного потока относительно малого отрезка АВ.

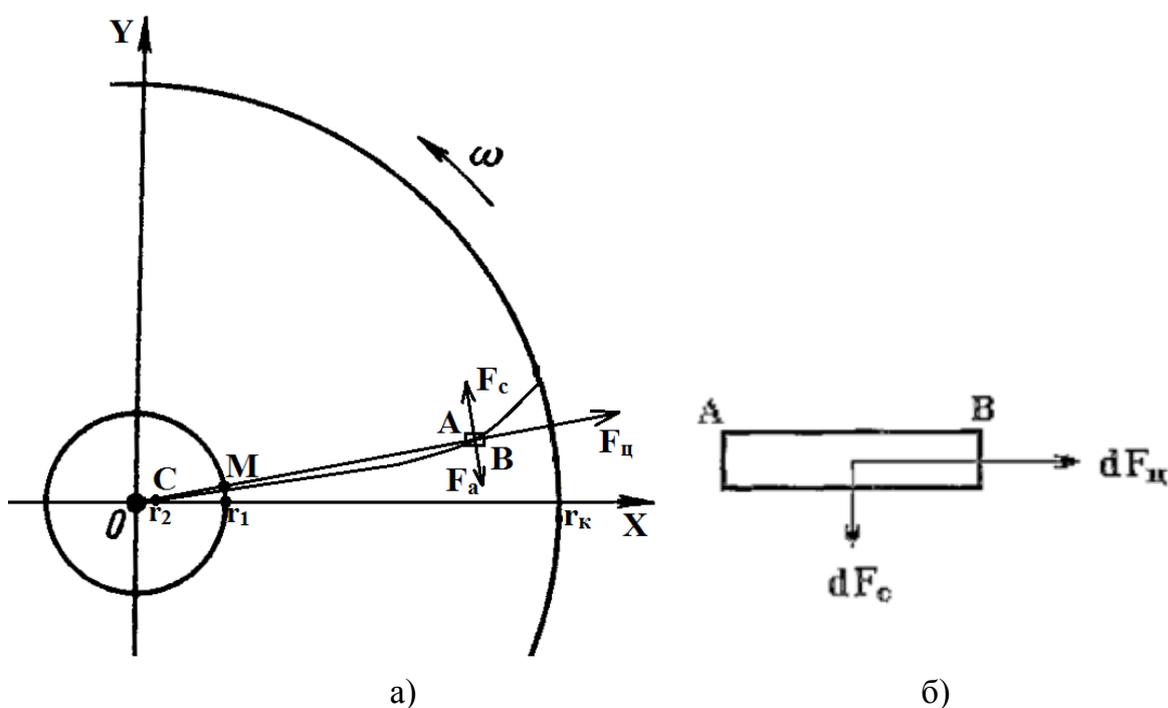


Рисунок 2 – Положение баллона комбинированной пряжи в прядильной камере

Учет всех сил, действующих на комбинированную пряжу в камере, позволяет решить задачу о натяжении комбинированной пряжи, а также вычислить геометрические параметры контура, по которому происходит движение комбинированной пряжи. Для решения поставленной задачи не учитывалась сила тяжести, сила Кориолиса и аэродинамическая сила. Наиболее существенное и значимое влияние на натяжение комбинированной пряжи оказывает в данном случае центробежная сила [2].

Далее будем решать задачу относительно натяжения комбинированной пряжи в камере пневмомеханического прядильного устройства при условии, что действует только центробежная сила. Центробежная сила действует так, что ось волокнистой составляющей будет направлена по радиусу.

Будем считать, что линейная плотность комбинированной пряжи зависит от радиальной координаты  $r$  текущей точки на контуре комбинированной пряжи:  $T_{к.п.} = T_{к.п.}(r)$ . Центробежная сила, действующая на элемент  $dr$  комбинированной пряжи линейной плотностью  $T_{к.п.}(r)$  (рисунок 2 б):

$$dF_u = T_{к.п.}(r) \omega^2 r dr, \quad (1)$$

где  $\omega = \pi n_k / 30 + v_{вып} / r_k$  – угловая скорость вращения прядильного ротора;  $n_k$  – частота вращения крутильного органа, мин-1;  $r_k$  – радиус камеры, мм;  $v_{вып}$  – скорость движения комбинированной пряжи по контуру камеры, м/мин.

Отметим, что сила натяжения равна по величине центробежной силе, но противоположна ей по направлению:

$$dF_n = - dF_u \quad (2)$$

и, следовательно:

$$dF_n = T_{к.п.}(r) \omega^2 r dr, \quad (3)$$

Обозначим через  $F_n(r_k)$  – натяжение в точке съема при  $r = r_k$ . Общая формула для натяжения при  $T_{к.п.} = T_{const} = const$  имеет вид:

$$F_n(r_k) - F_n(r) = -0,5 T_{const} \omega^2 (r_k^2 - r^2), \quad (4)$$

а при переменной линейной плотности:

$$F_n(r_k) - F_n(r) = -\omega^2 \int_r^{r_k} T(r) r dr. \quad (5)$$

На рисунке 3 представлена схема распределения линейной плотности комбинированной электропроводящей пряжи по контуру в камере при её формировании.

Формирование пряжи в камере можно разделить на два этапа: сначала происходит формирование волокнистой мычки из дискретного потока волокон от края камеры К до точки М, расположенной около центра камеры, где происходит соединение волокнистой мычки с поступающей из полого ротора медной микропровоолокой, которая обкручивает формируемую в камере пряжу. Линейная

плотность от точки  $K$  до точки входа на поверхность воронки изменяется от минимального значения  $T_m$  при  $r = r_k$  до максимального значения  $T_{к.п.}$  при  $r = r_2$ . По схеме, представленной на рисунке 3, изменение линейной плотности комбинированной пряжи происходит при  $r = r_1$ , где происходит соединение волокнистой мычки с медной микропроволокой. В точке  $r_2$  комбинированная пряжа входит на поверхность воронки.

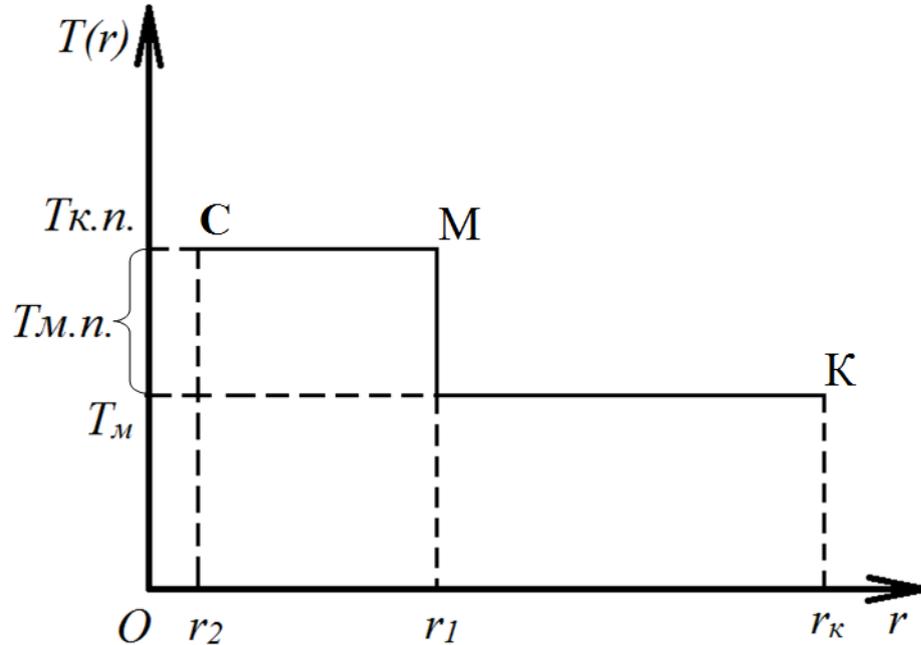


Рисунок 3 – Распределение линейной плотности комбинированной электропроводящей пряжи по контуру прядильной камеры

Следовательно, натяжение при  $r = r_2$  можно найти из следующего соотношения:

$$F_n(r_k) - F_n(r_2) = -(T_{к.п.} \omega^2 \int_{r_2}^{r_1} r dr + T_m \omega^2 \int_{r_1}^{r_k} r dr). \quad (6)$$

Найдя соответствующие интегралы правой части (6), получим:

$$F_n(r_k) - F_n(r_2) = -\left[ \frac{1}{2} T_{к.п.} \omega^2 (r_1^2 - r_2^2) + \frac{1}{2} T_m \omega^2 (r_k^2 - r_1^2) \right], \quad (7)$$

Следовательно:

$$F_n(r_2) = F_n(r_k) + \frac{1}{2} \omega^2 [T_{к.п.} (r_1^2 - r_2^2) + T_m (r_k^2 - r_1^2)]. \quad (8)$$

Линейная плотность медной микропроволоки выражается следующим образом:

$$T_{м.п.} = T_{к.п.} - T_m, \quad (9)$$

Тогда:

$$\begin{aligned} T_{к.н.}(r_1^2 - r_2^2) + (T_{к.н.} - T_{м.н.})(r_к^2 - r_1^2) &= \\ = T_{к.н.}(r_к^2 - r_2^2) - T_{м.н.}(r_к^2 - r_1^2). \end{aligned} \quad (10)$$

Следовательно:

$$F_n(r_2) = F_n(r_к) + \frac{1}{2} \omega^2 [T_{к.н.}(r_к^2 - r_2^2) - T_{м.н.}(r_к^2 - r_1^2)]. \quad (11)$$

Согласно [2], величина  $F_n(r_к)$  составляет приближенно  $0,5 k_p T_m \omega^2 r_к^2$ , где  $k_p = 0,07$  – безразмерный коэффициент.

С целью упрощения расчетов и наглядности графического материала введем некоторые относительные переменные:

$$r_{2*} = \frac{r_2}{r_к}; \quad r_{1*} = \frac{r_1}{r_к}; \quad \Delta T_{омн} = \frac{T_{м.н.}}{T_{к.н.}}.$$

Следовательно:

$$F_n(r_2) = F_n(r_к) + \frac{1}{2} \omega^2 r_к^2 T_{мин} [1 - r_{2*}^2 + \Delta T_{омн} (1 - r_{1*}^2)]. \quad (12)$$

Поскольку

$$T_m = T_{к.н.} - T_{м.н.} = T_{к.н.} (1 - \Delta T_{омн}), \quad (13)$$

то

$$F_n(r_к) = \frac{1}{2} k_p \omega^2 r_к^2 T_{к.н.} (1 - \Delta T_{омн}). \quad (14)$$

Подставляя (14) в (11), имеем:

$$\begin{aligned} F_n(r_2) &= \frac{1}{2} \omega^2 r_к^2 k_p T_{к.н.} (1 - \Delta T_{омн}) + \frac{1}{2} \omega^2 r_к^2 [(1 - r_{2*}^2) - \Delta T_{омн} (1 - r_{1*}^2)] = \\ &= \frac{1}{2} \omega^2 r_к^2 k_p T_{к.н.} \{ k_p (1 - \Delta T_{омн}) + [(1 - r_{2*}^2) - \Delta T_{омн} (1 - r_{1*}^2)] \}. \end{aligned} \quad (15)$$

Таким образом, полученное соотношение (15) позволяет вычислить натяжение комбинированной пряжи в точке  $r = r_2$  в зависимости от относительных переменных  $r_{2*}$ ,  $r_{1*}$ , и  $\Delta T_{омн}$ .

Согласно (8) натяжение комбинированной пряжи при  $r = r_1$  определяется по формуле

$$\begin{aligned} F_n(r_1) &= \frac{1}{2} \omega^2 r_к^2 T_{к.н.} \{ k_p (1 - \Delta T_{омн}) + [(1 - r_{1*}^2) - \Delta T_{омн} (1 - r_{1*}^2)] \} = \\ &= \frac{1}{2} \omega^2 r_к^2 k_p T_{к.н.} [(1 - \Delta T_{омн}) (k_p + 1 - r_{1*}^2)]. \end{aligned} \quad (16)$$

Натяжение комбинированной пряжи в точке входа на поверхность воронки определяется формулой

$$F_n(r_B) = \frac{1}{2} \omega^2 r_k^2 T_{к.н.} [(1 - \Delta T_{отн}) (k_p + 1 - r_{B^*}^2)], \quad (17)$$

где  $r_{B^*} = \frac{r_B}{r_k}$ ;  $r_B$  – радиус воронки, м.

Обозначим через  $\varphi_{охв1}$  и  $\varphi_{охв2}$  углы охвата нитью поверхности воронки, представленные на рисунке 4, а через  $F_{вых}$  – силу натяжения комбинированной пряжи на выходе из прядильного устройства с учетом сил трения, действующих на неё при движении через воронку и глазок. Тогда

$$F_{вых} = F_a + F_n(r_B) \exp(k[\varphi_{охв1} + \varphi_{охв2}]), \quad (18)$$

где  $F_a$  – аэродинамическая сила, действующая на комбинированную пряжу в полости стеклянной трубки пряжевыводного узла;  $k$  – коэффициент трения пряжи о поверхность выводной воронки.

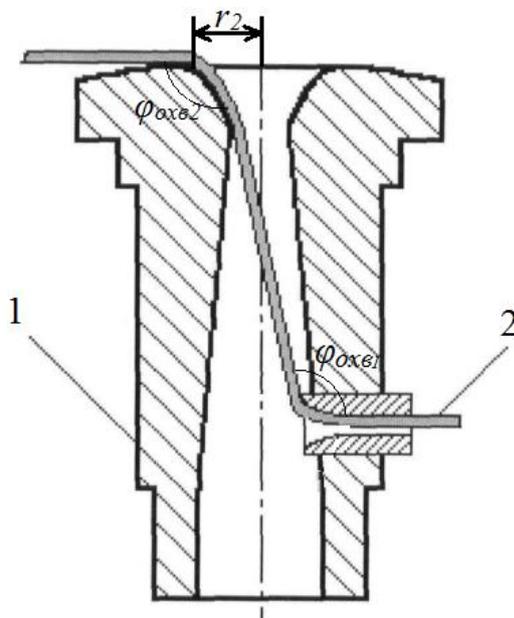


Рисунок 4 – Схема обхвата пряжей поверхностей воронки:  
1 – воронка; 2 – комбинированная электропроводящая пряжа

В литературном источнике [2] сказано, что  $F_a \ll F_n(r_B) \exp(k[\varphi_{охв1} + \varphi_{охв2}])$ , следовательно, аэродинамическим сопротивлением, действующим на комбинированную пряжу в полости стеклянной трубки, можно пренебречь, тогда натяжение комбинированной пряжи на выходе из прядильного устройства вычисляется по следующей зависимости:

$$F_{вых} = \frac{1}{2} \omega^2 r_k^2 T_{к.н.} [(1 - \frac{T_{м.н.}}{T_{к.н.}}) (k_p + 1 - (\frac{r_B}{r_k})^2)] \cdot \exp(k[\varphi_{охв1} + \varphi_{охв2}]). \quad (19)$$

Выражение (19) показывает, что натяжение пряжи прямо пропорционально линейной плотности формируемой пряжи, квадрату угловой скорости прядильной камеры и её

радиусу. С увеличением коэффициента трения между пряжей и поверхностью воронки натяжение первой увеличивается, также оно зависит от угла охвата пряжей поверхности воронки (углы  $\varphi_{охв1}, \varphi_{охв2}$ ).

Для оценки величины натяжения ( $F_{вых}$ ), действующего на пряжу в процессе формирования, необходимо построить графики изменения натяжения в зависимости от частоты вращения прядильной камеры. При  $r_k = 0,0325$  м;  $\varphi_{охв1} + \varphi_{охв2} \approx 180^\circ$ ;  $k = 0,16$  и  $r_e = 0,0015$  м для комбинированной электропроводящей арселонсодержащей и хлопкосодержащей пряжи графики изменения натяжения представлены на рисунке 5.

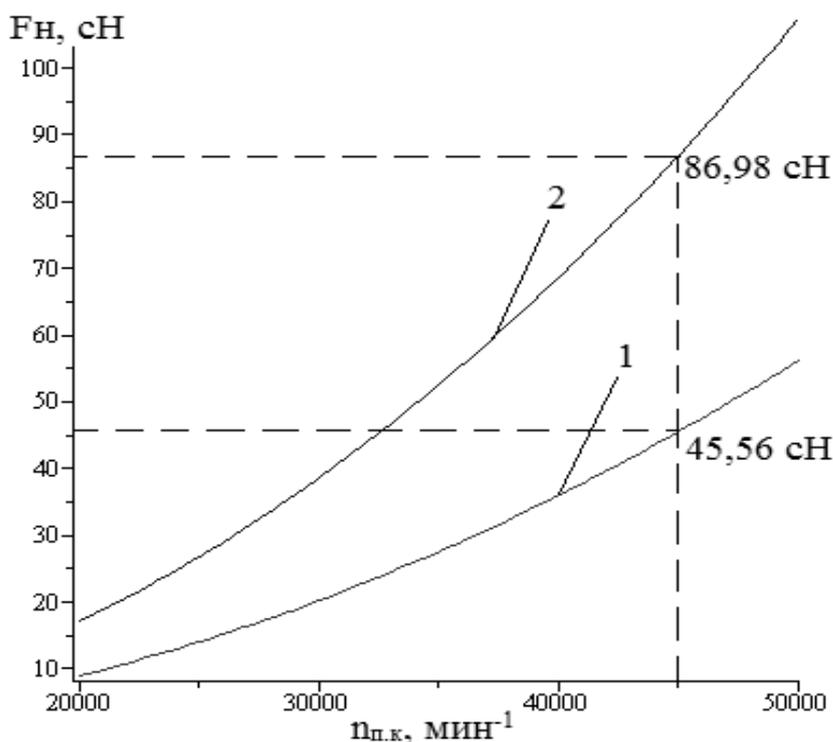


Рисунок 5 – Изменение натяжения в зависимости от частоты вращения прядильной камеры: 1 – комбинированная хлопкосодержащая электропроводящая пряжа; 2 – комбинированная электропроводящая арселонсодержащая пряжа

В работе И. И. Мигушова [2] отмечено, что предельно допустимое натяжение, действующее на пряжу, в процессе формирования должно быть в 2 – 5 раз меньше абсолютной разрывной нагрузки пряжи.

Анализируя графики изменения натяжения (рисунок 5), можно сделать вывод, что при разрывных нагрузках комбинированной хлопкосодержащей и арселонсодержащей электропроводящей образцов пряжи 336 и 516 сН целесообразно нарабатывать комбинированную электропроводящую пряжу при частоте вращения прядильных камер до  $45000 \text{ мин}^{-1}$ , что обеспечит минимальную обрывность в процессе её формирования. Следовательно, вырабатывать комбинированную электропроводящую пряжу средней линейной плотности пневмомеханическим способом формирования при частоте вращения прядильных камер свыше  $45000 \text{ мин}^{-1}$  в производственных условиях нецелесообразно, ввиду значительной её обрывности.

Для стабильного формирования электропроводящей пряжи необходимо следить за состоянием пряжевыводящей воронки, в случае её износа производить своевременную замену, в противном случае возникает повышенная обрывность пряжи, обусловленная увеличением коэффициента трения между пряжей и поверхностью воронки.

**ВЫВОД**

Получена теоретическая модель для расчета натяжения комбинированной электропроводящей пряжи средней линейной плотности при её формировании, учитывающая технологические особенности процесса её производства и позволяющая прогнозировать оптимальные режимы работы оборудования (частоту вращения прядильной камеры и крутку).

#### Список использованных источников

1. Коган, А. Г. Технология и оборудование для производства ровницы и пряжи : учебное пособие / А. Г. Коган, Н. В. Скобова ; под ред. А. Г. Когана. – Витебск : УО «ВГТУ», 2009. – 240 с.
2. Мигушов, И. И. Механика текстильной нити и ткани : монография / И. И. Мигушов. – Москва : Легкая индустрия, 1980. – 160 с., ил.

*Статья поступила в редакцию 14.10.2011*