

УДК 677.017:621.3

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМОСТОЙКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ПРЯЖИ

*Костин П.А., аспирант, Дягилев А.С., к.т.н., доцент, Коган А.Г., д.т.н.,
профессор.*

*УО «Витебский государственный технологический университет»,
г. Витебск, Республика Беларусь*

OPTIMIZATION OF PROCESS OF DISCRETIZATION DURING OBTAINING OF COMBINED FIRE-RESISTANT ELECTRO CONDUCTIVE YARN

P.A. Kostin, A.S. Dyagilev, A.G. Kogan

«Vitebsk State Technological University» Vitebsk, r. Belarus

Производство термостойкой 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 термостойкой электропроводящей пряжи по кардной системе прядения хлопка с применением модернизированной пневмомеханической прядильной машины ППМ-120АМ с полым ротором, где в качестве сырья используется арселоновое волокно и медная микропроволока.

Фотография опытного образца комбинированной термостойкой пряжи под микроскопом представлена на рисунке 1.

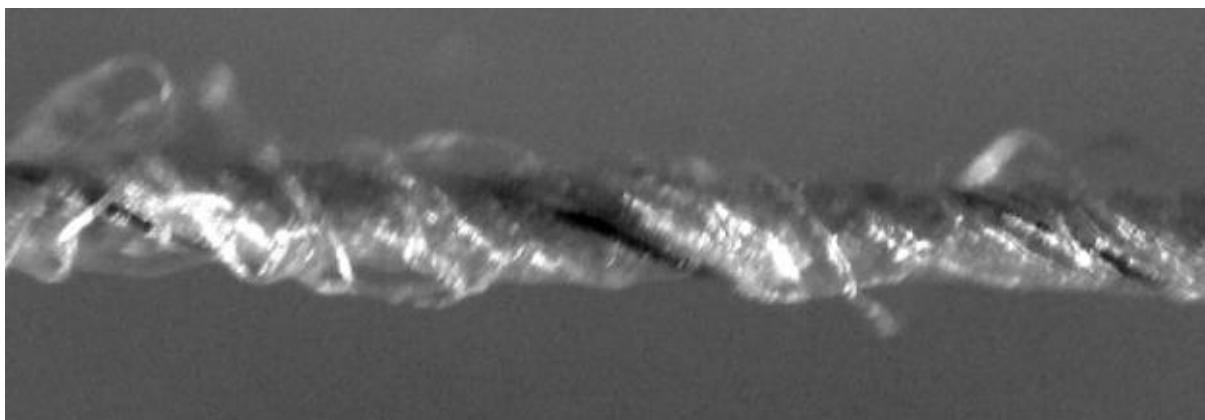


Рисунок 1 – Фотография комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи под микроскопом

На основе электропроводящей пряжи можно получить текстильные материалы обладающие экранирующими и антистатическими свойствами, из которых изготавливается защитная спецодежда, обладающая высокой удельной проводимостью, для людей работающих в условиях повышенной опасности: для

нефтеперерабатывающей отрасли, спецодежды для газо- и бензозаправочных станций, для работников в условиях мощного электромагнитного излучения.

Высокая термостойкость арселоновой пряжи позволяет эксплуатировать изделия при температуре 250°C сроком до 3 лет, кратковременно изделия выдерживают температуру до 400°C, при этом практически не усаживаются и не плавятся. Высокая гигроскопичность арселоновых волокон, подобная хлопку, способность окрашиваться, пониженная горючесть, сохранение эластических свойств при низких температурах позволяют использовать пряжу в тканях для изготовления специальной термозащитной и трудногорючей экранирующей и антистатической одежды (для пожарных, спасателей, аппаратчиков, фильтровальных полотен для высокотемпературных газов и средств индивидуальной защиты (костюмов, перчаток, рукавиц) [1]. Физико-механические свойства арселоновых волокон представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические свойства волокна «Арселон»

Параметр	Значение
Кондиционная линейная плотность, элементарного волокна, Текс	0,17
Отклонение кондиционной линейной плотности элементарного волокна от номинальной, %	±8
Штапельная длина, мм	36
Отклонение фактической длины волокна от номинальной, %	±8
Удельная разрывная нагрузка элементарного волокна, мН/текс	280
Кислородный индекс, %	28
Удлинение элементарного волокна при разрыве, %	20
Фактическая влажность, %	Не более 14%
Массовая доля замасливателя, %	0,5-1,5
Склейки и роговидные волокна, %	0,0025
Количество извитков, на 1 см	3

Физико-механические свойства медной микропроволоки, используемой при производстве комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства медной микропроволоки

Номинальный диаметр, мм	Временное сопротивление проволоки марок ММ и МТЭ, МПа (кгс/мм ²), не менее	Сопротивление изгибу, циклов	Относительное удлинение проволоки марок ММ и ММЭ, %, не менее
0,04-0,05	441(45)	11000	10

Сущность предложенного способа формирования термостойкой электропроводящей пряжи (рисунок 2) состоит в том, что в рабочую зону прядильной камеры 6 вместе с дискретным потоком арселоновых волокон 5 с двухфланцевой катушкой 12 при помощи дополнительно установленного узла питания (питающие валики) 13 подается с постоянной скоростью медная микропроволока 11 линейной плотности 18 текс, которая обкручивает формируемую в камере пряжу 8. Полученная комбинированная термостойкая электропроводящая пряжа 9 выводится из камеры и наматывается на бобину 10 (рисунок 2). Структура комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи зависит от отношения скорости подачи медной микропроволки к скорости вывода комбинированной пряжи из прядильной камеры.

Для изготовления одежды специального назначения используется пряжа средней линейной плотности. Для переработки комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи в ассортимент тканей в условиях ткацкого производства РУП БПХО была наработана пряжа линейной плотности 60 текс.

Линейная плотность комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи определяется по формуле:

$$T_{\text{комб}} = (T_{\text{мпр}} + T_{\text{мычки}}) \cdot K_y, \quad (1)$$

где $T_{\text{комб}}$ – линейная плотность комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи, 60 текс; $T_{\text{мпр}}$ – линейная плотность медной микропроволоки, 18 текс; $T_{\text{мычки}}$ – линейная плотность арселоновой мычки, 43 текс; K_y – коэффициент укрутки, определен экспериментально – 0,98.

Одним из основных процессов пневмомеханического прядения [2] является разъединение комплексов волокнистой массы до отдельных волокон, который осуществляется дискретизирующим устройством.

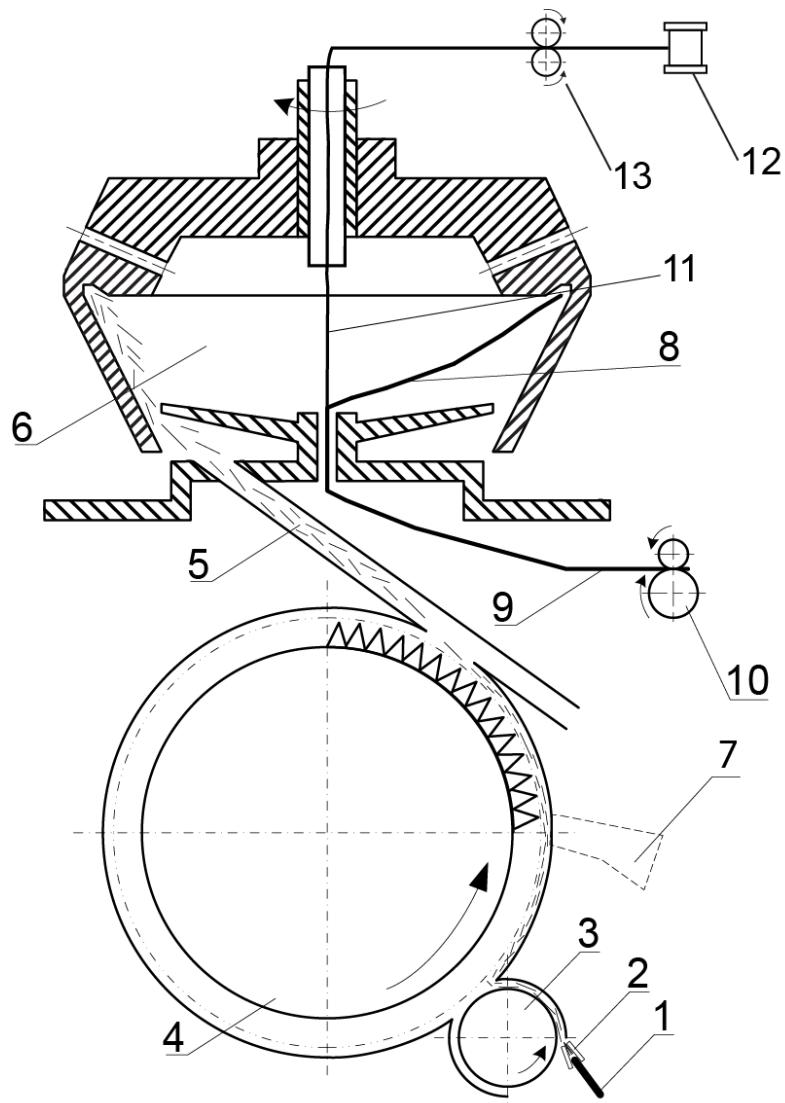


Рисунок 2 – Технологическая схема модернизированной прядильной машины ПМ-120АМ

Дискретизирующее устройство (рисунок 2) состоит из закрепленной на питающем столике уплотняющей воронки 2 через которую протаскивается волокнистая

лента 1. Столик прижимается пружиной к питающему цилинду 3, за счет чего создается необходимое усилие для протаскивания. Питающий цилиндр 3 подает ленту к дискретизирующему барабанчику 4 с пильчатой гарнитурой. Зубья дискретизирующего барабанчика производят разъединение непрерывного волокнистого потока на отдельные волокна и очистку волокон от пороков и сорных примесей. Вышедшие из питающего цилиндра волокна теряют связь с неразъеденёнными комплексами волокон и захватываются зубьями гарнитуры барабанчика. При вращении барабанчика, сорные примеси подводятся к сороотводящему каналу 7, а волокна по транспортирующему каналу направляются на сборную поверхность прядильного ротора 6. При этом волокна распрямляются и ориентируются по ходу своего движения.

К особенностям процесса дискретизации при переработке арсеплонового волокна следует отнести механическое повреждение волокон, сопровождающееся их укорачиванием, выделение прядомых волокон в отходы. Это снижает прочность и качество пряжи. Для повышения стабильности процесса прядения и улучшения качества термостойкой электропроводящей пряжи. Особено важно обеспечить эффективную работу узла дискретизации. Основные факторы влияющие на процесс дискретизации это: тип гарнитуры дискретизирующего барабанчика и частота его вращения (рисунок 3). Гарнитура дискретизирующего барабанчика должна обеспечить необходимое разъединение арсеплоновых волокон при их минимальной повреждаемости.

Интенсивность воздействия зубьев гарнитуры дискретизирующего барабанчика приходящееся на одно волокно:

$$m = \frac{znT_B l}{1000v_{\pi} T_{\pi}}, \quad (2)$$

где z – число зубьев на поверхности дискретизирующего барабанчика (3); n – частота вращения дискретизирующего барабанчика, 7000 мин^{-1} ; T_{π} – линейная плотность волокна, $0,17 \text{ текс}$; T_{π} – линейная плотность ленты, 5400 текс ; l – средняя длина волокон питающей ленты, 36 мм ; v_{π} – линейная скорость питания $0,36 \text{ м/мин}$;

Число зубьев на поверхности дискретизирующего барабанчика рассчитывается по формуле:

$$z = \frac{\pi \cdot d \cdot k}{h_3}, \quad (3)$$

где k – число оборотов пильчатой ленты; h_3 – шаг зуба, мм ; d – диаметр поверхности дискретизирующего барабанчика. Результаты расчета интенсивности воздействия зубьев гарнитуры дискретизирующего барабанчика на волокна арсеплона и геометрических параметров исследуемых гарнитур приведены в таблице 3.

Для производства комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи линейной плотности 60 текс использовались технологические параметры: линейная плотность ленты $T_{\pi} = 5400 \text{ текс}$, частота вращения дискретизирующего барабанчика $n=7000 \text{ мин}^{-1}$, скорость подачи ленты $v_{\pi} = 0,36 \text{ м/мин}$.

На машинах ППМ установленных на РУПП «БПХО» используются три вида гарнитур (рисунок 3) по результатам предварительных экспериментов было определено что пряжа выработанная с использованием каждой из использованных гарнитур обладает приемлемыми физико-механическими свойствами. При этом в результате попарного сравнения нельзя определить лучшую одновременно по всем основным физико-механическим свойствам (коэффициент вариации по линейной плотности, коэффициент вариации по крутке, коэффициент вариации по разрывной нагрузке, относительная разрывная нагрузка).

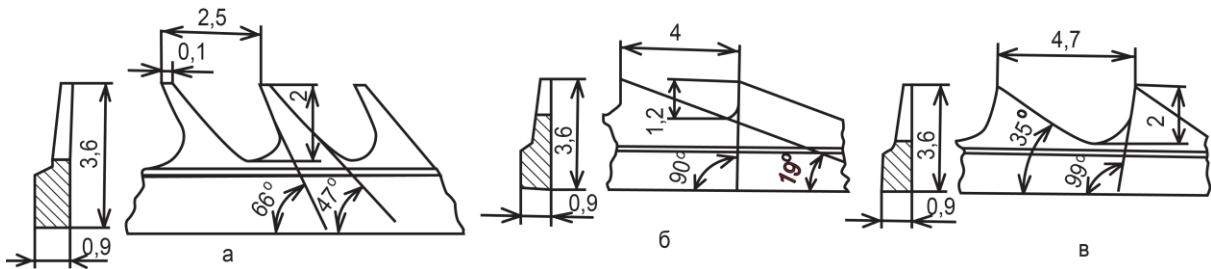


Рисунок 3 – Гарнитура дискретизирующего барабанчика:
а – ОК-40; б – ОК-36; в – ОК-37

Таким образом, встает задача многокритериальной оптимизации: выбор типа гарнитуры дискретизирующего барабанчика обеспечивающей наилучшее сочетание физико-механических свойств комбинированной электропроводящей термостойкой пряжи.

Были проведены однофакторные (тип гарнитуры) эксперименты с имеющимися типами гарнитур дискретизирующего барабанчика (ОК-40; ОК-36; ОК-37). В таблице 3 представлены основные геометрические и технологические параметры используемых гарнитур.

Таблица 3 – Геометрические параметры используемых гарнитур

Параметры гарнитур	Типы гарнитур		
	ОК -40	ОК -37	ОК -36
Общая высота гарнитуры, мм	3,6	3,6	3,6
Высота зуба, мм	2	2	1,2
Толщина основания гарнитуры, мм	0,9	0,9	0,9
Шаг зуба, мм	2,5	4,7	4
Угол наклона передней грани, град	66	99	90
Ширина вершины зуба, мм	0,1	0,1	0,1
Толщина вершины зуба, мм	0,15	0,1	0,2
Ширина зуба, мм	0,96	1,13	1,28
Толщина зуба, мм	0,4	0,4	0,4
Число зубьев на поверхности дискретизирующего барабанчика, з	729	388	455
Число зубьев дискретизирующего барабанчика, приходящееся на 1 волокно, т	16	8,5	10

Эксперимент проводился в условиях РУП «БПХО» г. Барановичи на модернизированной пневмомеханической прядильной машине ППМ-120АМ.

Наработка пряжи проводилась при последовательной замене дискретизирующих барабанчиков с различными типами гарнитур. Полученная пряжа испытывалась на основные физико-механические показатели [3] в производственной лаборатории РУП «БПХО» г. Барановичи. В качестве критериев оптимизации были выбраны следующие показатели: P_n - относительная разрывная нагрузка, сН/текс; C_{vp} - коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %; C_{vt} - коэффициент вариации по линейной плотности, %; C_{vk} - коэффициент вариации крутке, %. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Физико-механические свойства пряжи выработанной с использованием дискретизирующих барабанчиков с различным типом гарнитур

Критерии	Тип гарнитуры		
	Ок-40 (X ₁)	Ок-37 (X ₂)	Ок-36 (X ₃)
Коэффициент вариации по линейной плотности (Y ₁), %	3,2	3	2,8
Коэффициент вариации по крутке (Y ₂), %	2,4	2,9	2,7
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке (Y ₃), %	10	8,1	6,7
Относительная разрывная нагрузка (Y ₄), сН/текс	8,1	8,3	7,7

Из таблицы 4 видно что пряжа наибольшей прочности получена с использованием гарнитуры ОК-37 ($P_n = 8,3$ сН/текс). Пряжа с наименьшим значением коэффициента вариации по разрывной нагрузки с использованием гарнитуры ОК-36 ($C_{vp}=6,7\%$). Пряжа с наименьшим значением коэффициента вариации по крутке с использованием гарнитуры ОК-40 ($C_{vk}=2,4\%$). Пряжа с наименьшим значением коэффициента вариации по линейной плотности с использованием гарнитуры ОК-36 ($C_{vt}=2,8\%$).

Таким образом невозможно выбрать гарнитуру обеспечивающую наилучшие физико- механические свойства термостойкой электропроводящей пряжи одновременно по всем критериям приведенным в таблице 4. Поэтому для решения поставленной задачи был использован метод обобщенной функции желательности.

Для совместного рассмотрения критериев имеющих различные единицы измерения их необходимо пронормировать (привести к безразмерному виду) с помощью частных функций желательности Дэрринжера [4]. Границы значений желательностей частных критериев оптимизации приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Желательности частных критериев оптимизации

Критерии	Наименее желательное значение (0)	Наиболее желательное значение (1)
Коэффициент вариации по линейной плотности (Y ₁), %	3,5	2,5
Коэффициент вариации по крутке (Y ₂), %	3,5	2,5
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке (Y ₃), %	10,5	5
Относительная разрывная нагрузка (Y ₄), сН/текс	7,5	8,5

Критерии Y₁, Y₂, Y₃, ограничены с верху и их желательности определяются по формуле:

$$d_i = \begin{cases} 1 & \text{при } Y_i < L_{Y_i} \\ \left(\frac{Y_i - U_{Y_i}}{L_{Y_i} - U_{Y_i}} \right)^{r_{Y_i}} & \text{при } L_{Y_i} \leq Y_i \leq U_{Y_i}, \\ 0 & \text{при } Y_i > U_{Y_i} \end{cases} \quad (4)$$

где i – номер критерия ($i = 1..3$); r_{Y_i} - параметр, определяющий кривизну функции желательности ($r_{Y_i} = 1$). Так как значения критериев Y₁, Y₂, Y₃, располагаются внутри диапазонов $L_{Y_i} \leq Y_i \leq U_{Y_i}$ то их желательности рассчитываются по формулам:

$$d_1 = \frac{Y_1 - 3,5}{2,5 - 3,5}, \quad d_2 = \frac{Y_2 - 3,5}{2,5 - 3,5}, \quad d_3 = \frac{Y_3 - 10,5}{5 - 10,5}. \quad (5)$$

Критерий Y_4 ограничен снизу, его желательность определяются по формуле:

$$d_4 = \begin{cases} 0 & \text{при } Y_4 < L_{Y_4} \\ \left(\frac{Y_4 - L_{Y_4}}{U_{Y_4} - L_{Y_4}} \right)^{l_{Y_4}} & \text{при } L_{Y_4} \leq Y_4 \leq U_{Y_4} \\ 1 & \text{при } Y_4 > U_{Y_4} \end{cases} \quad (6)$$

где l_{Y_4} - параметр, определяющий кривизну функции желательности ($l_{Y_4} = 1$)

Значения критерия Y_4 так же располагаются внутри диапазона $L_{Y_4} = 7,5 \leq Y_4 \leq U_{Y_4} = 8,5$ и его желательность рассчитывается по формуле:

$$d_4 = \frac{Y_4 - 7,5}{8,5 - 7,5}. \quad (7)$$

Желательности критериев рассчитанные по формулам (5) и (7) приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Частные желательности физико-механических свойств пряжи

Критерии	Тип гарнитуры		
	Ок-40 (X_1)	Ок-37 (X_2)	Ок-36 (X_3)
Желательность коэффициента вариации по линейной плотности (Y_1)	$d_{1,1} = 0,3$	$d_{1,2} = 0,5$	$d_{1,3} = 0,7$
Желательность коэффициента вариации по крутке (Y_2)	$d_{2,1} = 1$	$d_{2,2} = 0,6$	$d_{2,3} = 0,8$
Желательность коэффициента вариации по разрывной нагрузке (Y_3)	$d_{3,1} = 0,09$	$d_{3,2} = 0,44$	$d_{3,3} = 0,69$
Желательность относительной разрывной нагрузки (Y_4)	$d_{4,1} = 0,6$	$d_{4,2} = 0,8$	$d_{4,3} = 0,2$

Обобщенная функция желательности учитывающая желательности каждого частного критерия оптимизации имеет вид:

$$D_{i,j} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_{i,j}}, \quad (6)$$

где n – число рассматриваемых частных параметров оптимизации, в нашем случае 4; $d_{i,j}$ – желательность i -го частного критерия оптимизации для j -й гарнитуры. Таким образом, оптимационная задача сводится к определению максимального значения обобщенной функции желательности D .

Рассчитанные значения обобщенной функции желательности для дискретизирующих барабанчиков с различным типом гарнитуры приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Значения обобщённой функции желательности

Тип гарнитуры	Желательность
Ок-40	$D_1 = (d_{1,1} \times d_{2,1} \times d_{3,1} \times d_{4,1})^{1/4} = 0,35766$
Ок-37	$D_2 = (d_{1,2} \times d_{2,2} \times d_{3,2} \times d_{4,2})^{1/4} = 0,568873$
Ок-36	$D_3 = (d_{1,3} \times d_{2,3} \times d_{3,3} \times d_{4,3})^{1/4} = 0,527424$

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что наибольшей желательностью обладает гарнитура ОК-37($D=0,56$). Она имеет отрицательный угол наклона зуба 99° , шаг зубьев 4,7 мм, наименьшее число зубьев на поверхности дискретизирующего барабанчика (по сравнению с ОК-40 и ОК-36), тем самым обладает наименьшей интенсивностью воздействия на волокнистую бородку. В таблице 8 представлены физико-механические свойства термостойкой электропроводящей пряжи, полученной с использованием гарнитуры дискретизирующего барабанчика типа ОК-37.

Таблица 8 – Физико-механические свойства термостойкой электропроводящей пряжи.

Показатель	Термостойкая электропроводящая пряжа
Линейная плотность Т, текс	60
Коэффициент вариации линейной плотности Сvt, %	3
Разрывная нагрузка Р, сН	498
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке Сvp, %	8,1
Разрывное удлинение L, %	14
Коэффициент вариации по разрывному удлинению Сvl, %	14,5
Диаметр электропроводящей пряжи d, мм	0,155
Крутка K, кр/м	950
Кислородный индекс Ki, %	27
Удельное электрическое сопротивление, Ом	$2,5 * 10^2$

В результате проведённых исследований установлено, что для получения комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи целесообразно использовать гарнитуру дискретизирующего барабанчика типа ОК-37, обеспечивающую физико-механические свойства: относительная разрывная нагрузка $P_h=8,3$ сН/текс; коэффициент вариации по разрывной нагрузке $C_{vp}=8,1\%$; коэффициент вариации по линейной плотности $C_{vt}=3\%$; коэффициент вариации крутке $C_{vk}=2,9\%$.

Библиографический список.

1. Коган А.Г. Производство многокомпонентных пряж и комбинированных нитей / А.Г. Коган, Д.Б. Рыклин. – Витебск: УО «ВГТУ» 2002. – 215 с.
2. Борзунов И. Г. Прядение хлопка и химических волокон / И.Г. Борзунов, К. И. Бадалов, В. Г. Гончаров. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Легпромбытиздат, 1986. - 392 с.

3. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.И. Кобляков; под ред. Кукина. – Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 352 с.
4. G. Derringer, R. Suich Simultaneous Optimization of Several Response Variables: Journal of Quality Technology, Vol. 12, No. 4, 1980, pp. 494-498.