

УДК 677.017:621.3

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМОСТОЙКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ПРЯЖИ

П.А. Костин, А.С. Дягилев, А.Г. Коган

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

Производство термостойкой электропроводящей пряжи является одним из наиболее интенсивно развивающихся современных производств текстильных материалов. Кафедрой прядения натуральных и химических волокон Витебского технологического университета в условиях Барановичского производственного хлопчатобумажного объединения (БПХО) 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 волокно арселон и медная микропроволока. Микрофотография опытного образца комбинированной термостойкой пряжи представлена на рис. 1.

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

опасности — в нефтеперерабатывающей отрасли, на газо- и бензозаправочных станциях, в условиях мощного электромагнитного излучения.

Высокая термостойкость арселоновой пряжи позволяет эксплуатировать изделия при температуре 250 °С в течение времени до 3 лет. Кратковременно изделия выдерживают температуру до 400 °С, при этом практически не усаживаются и не плавятся. Высокая гигроскопичность волокон арселон близка к гигроскопичности хлопка. Способность окрашиваться, пониженная горючесть, сохранение эластических свойств при низких температурах позволяют использовать эту 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 волокон арселон представлены в табл. 1.

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

При предложенном способе формирования термостойкой электропроводящей пряжи (рис. 2)

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 извилок на 1 см	3

Таблица 2. Физико-механические свойства медной микропроволоки

Параметр	Значение
Номинальный диаметр, мм	0.04-0.05
Временное сопротивление проволоки марок ММ и МТЭ, МПа (кгс/мм ²), не менее	441 (45)
Сопротивление изгибу, число циклов	11000
Относительное удлинение проволоки марок ММ и ММЭ, %, не менее	10



Рис. 1. Микрофотография комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи.

Витебский государственный технологический университет: 210035, Республика Беларусь, Витебск, Московский пр-т, 72.

в рабочую зону прядильной камеры 6 вместе с дискретным потоком волокон арселон 5 с двухфланцевой катушки 12 при помощи дополнительного установленного узла питания (питающие валики) 13 подается с постоянной скоростью медная микропроволока 11 линейной плотностью 18 текс, которая обкручивает формируемую в камере пряжу 8. Полученная комбинированная термостойкая электропроводящая пряжа 9 выводится из камеры и наматывается на бобину 10. Структура комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи зависит от отношения скорости подачи медной микропроволоки к скорости вывода комбинированной пряжи из прядильной камеры.

В тканях для изготовления одежды специального назначения используется пряжа средней линейной плотности. Для переработки комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи в ассортимент тканей в условиях ткацкого производства БПХО использовалась пряжа линейной плотностью 60 текс.

Линейная плотность комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи определяется по формуле

$$T_{\text{комб}} = (T_{\text{м.пр}} + T_{\text{мыч}})K_y, \quad (1)$$

где $T_{\text{комб}}$ — линейная плотность комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи, 60 текс; $T_{\text{м.пр}}$ — линейная плотность медной микропроволоки, 18 текс; $T_{\text{мыч}}$ — 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.

Дискретизирующее устройство (см. рис.2) состоит из закрепленной на питающем столике уплотняющей воронки 2, через которую протаскивается волокнистая лента 1. Столик прижимается пружиной к питающему цилиндру 3, за счет чего создается необходимое усилие для протаскивания. Питающий цилиндр подает ленту к дискретизирующему барабанчику 4 с пильчатой гарнитурой. Зубья дискретизирующего барабанчика разъединяют непрерывный волокнистый поток на отдельные волокна и очищают волокна от пороков и сорных примесей. Вышедшие из питающего цилиндра волокна теряют связь с неразъединенными 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.

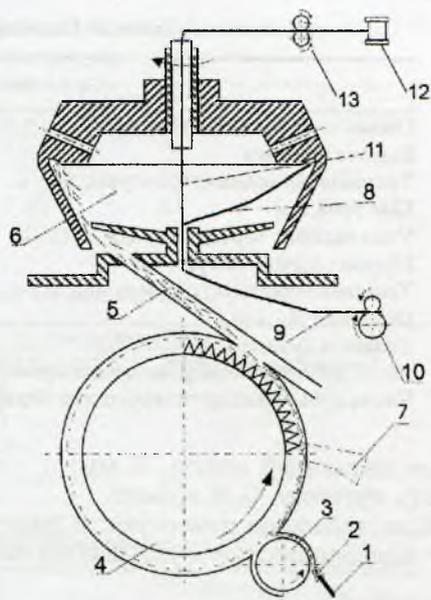


Рис. 2. Технологическая схема модернизированной прядильной машины ППМ-120АМ:

1 — волокнистая лента; 2 — уплотняющая воронка; 3 — питающий цилиндр; 4 — дискретизирующий барабанчик; 5 — дискретный поток волокон; 6 — прядильная камера; 7 — сороотводящий канал; 8 — формируемая пряжа; 9 — выходящая из камеры пряжа; 10 — бобина; 11 — микропроволока; 12 — двухфланцевая катушка; 13 — узел питания.

К особенностям процесса дискретизации при переработке волокна арселон 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 важно обеспечить эффективную работу узла дискретизации. Основные факторы, влияющие на процесс дискретизации, — это тип гарнитуры дискретизирующего барабанчика и частота его вращения (рис.3). Гарнитура дискретизирующего барабанчика должна обеспечивать необходимое разъединение волокон при их минимальной повреждаемости.

Интенсивность воздействия зубьев гарнитуры дискретизирующего барабанчика, приходящегося на одно волокно, выражается формулой

$$m = \frac{znT_n l}{1000v_n T_n}, \quad (2)$$

где z — число зубьев на поверхности дискретизирующего барабанчика; n — частота вращения дискретизирующего барабанчика, 7000 мин⁻¹; T_n — линейная плотность волокна, 0,17 текс; T_n — линейная плотность ленты, 5400 текс; l — средняя длина

Таблица 3. Геометрические параметры и используемых гарнитур

Параметры гарнитур	Тип гарнитуры		
	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	729	388	455
Число зубьев дискретизирующего барабанчика, приходящееся на 1 волокно	16	8.5	10

волокон питающей ленты, 36 мм; v_n – линейная скорость питания, 0.36 м/мин.

Число зубьев на поверхности дискретизирующего барабанчика рассчитывается по формуле

$$z = \frac{\pi dk}{h_3}, \tag{3}$$

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 арселон и геометрических параметров используемых гарнитур приведены в табл.3.

Для производства комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи линейной плотностью 60 текс использовались следующие технологические параметры: линейная плотность ленты $T_d = 5400$ текс, частота вращения дискретизирующего барабанчика $n = 7000$ мин⁻¹, скорость подачи ленты $v_n = 0.36$ м/мин.

На машинах ППМ, установленных на Барановичском ПХО, используются три вида гарнитур (см. рис.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 (коэффициенты вариации по

линейной плотности, крутке и разрывной нагрузке, относительная разрывная нагрузка).

Таким образом, необходимо решить задачу 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 табл.3 представлены основные геометрические и технологические параметры используемых гарнитур.

Эксперимент проводился в условиях Барановичского ПХО на модернизированной пневмомеханической прядильной машине ППМ-120АМ.

Наработка пряжи проводилась при последовательной замене дискретизирующих барабанчиков с различными типами гарнитур. Основные физико-механические показатели полученной пряжи определяли [3] в производственной лаборатории Барановичского предприятия. В качестве критериев оптимизации были выбраны следующие показатели: P_r – относительная разрывная нагрузка, сН/текс; C_{vp} – коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %; C_v – коэффициент вариации по линейной плотности, %; C_{vk} – коэффициент вариации по крутке, %. Результаты испытаний представлены в табл.4.

Из табл.4 видно, что пряжа наибольшей прочности получена с использованием гарни-

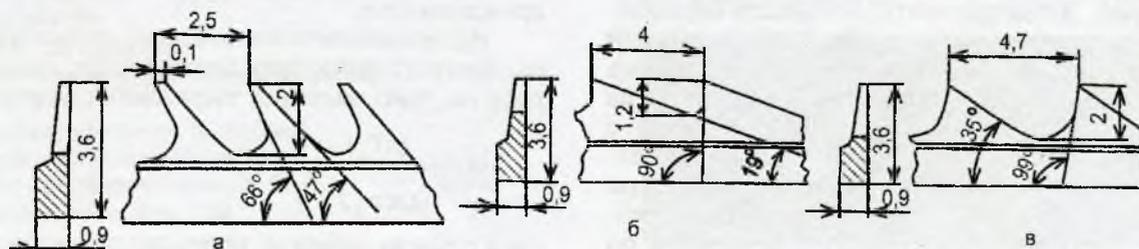


Рис. 3. Гарнитура дискретизирующего барабанчика: а – ОК-40; б – ОК-36; в – ОК-37.

Таблица 4. Физико-механические свойства пряжи, выработанной с использованием дискретизирующих барабанчиков с различным типом гарнитуры

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

Таблица 5. Границы желательности частных критериев оптимизации

Критерии	Значение критерия	
	наименее желательное (0)	наиболее желательное (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

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

туры ОК-37 (P_н = 8.3 сН/текс), пряжа с наименьшим коэффициентом вариации по разрывной нагрузке – с использованием гарнитуры ОК-36 (C_{вр} = 6.7%), пряжа с наименьшим коэффициентом вариации по крутке – с использованием гарнитуры ОК-40 (C_{вк} = 2.4%), пряжа с наименьшим коэффициентом вариации по линейной плотности – с использованием гарнитуры ОК-36 (C_л = 2.8%).

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

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

Критерии Y₁, Y₂, Y₃ ограничены сверху, их желательность определяется 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_{Y₃} = 1).

Так как значения критериев Y₁, Y₂, Y₃ располагаются внутри диапазонов, то их желательность рассчитывается 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 Y₄ ограничен снизу, его желательность определяется 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_{Y₄} – параметр, определяющий кривизну функции желательности (l_{Y₄} = 1).

Значения критерия Y₄ также располагаются внутри диапазона l_{Y₄}, и его желательность рассчитывается по формуле

$$d_4 = \frac{Y_4 - 7.5}{8.5 - 7.5} \quad (7)$$

Значения желательности критериев, рассчитанные по формулам (5) и (7), приведены в табл.6.

Таблица 7. Значения обобщенной функции желательности

Тип гарнитуры	Желательность
ОК-40	$D_1 = (d_{1,1} \cdot d_{2,1} \cdot d_{3,1} \cdot d_{4,1})^{1/4} = 0.35766$
ОК-37	$D_2 = (d_{1,2} \cdot d_{2,2} \cdot d_{3,2} \cdot d_{4,2})^{1/4} = 0.568873$
ОК-36	$D_3 = (d_{1,3} \cdot d_{2,3} \cdot d_{3,3} \cdot d_{4,3})^{1/4} = 0.527424$

Обобщенная функция желательности, учитывающая желательность каждого частного критерия оптимизации, имеет вид

$$D_{i,j} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_{i,j}}, \quad (8)$$

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, задача оптимизации сводится к определению максимального значения обобщенной функции желательности D .

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

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), в результате чего обладает наименьшей интенсивностью воздействия на волокнистую бородку. В табл.8 представлены физико-механические свойства термостойкой электропроводящей пряжи, полученной с использованием гарнитуры дискретизирующего барабанчика типа ОК-37.

В результате исследований установлено, что для получения комбинированной термостойкой

Таблица 8. Физико-механические свойства термостойкой электропроводящей пряжи

Параметр	Значение
Линейная плотность, текс	60
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	3
Разрывная нагрузка, сН	498
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	8.1
Разрывное удлинение, %	14
Коэффициент вариации по разрывному удлинению, %	14.5
Диаметр пряжи, мм	0.155
Крутка, кр./м	950
Кислородный индекс, %	27
Удельное электрическое сопротивление, Ом	$2.5 \cdot 10^2$

электропроводящей пряжи целесообразно использовать гарнитуру дискретизирующего барабанчика типа ОК-37, обеспечивающую следующие физико-механические свойства: относительная разрывная нагрузка 8.3 сН/текс, коэффициент вариации по разрывной нагрузке 8.1%, коэффициент вариации по линейной плотности 3%, коэффициент вариации по крутке 2.9%.

Библиографический список

1. Коган А.Г., Рыклин Д.Б. Производство многокомпонентных пряж и комбинированных нитей. – Витебск: ВГТУ, 2002. – 215 с.
2. Борзунов И.Г., Бадалов К.И., Гончаров В.Г. Прядение хлопка и химических волокон. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 392 с.
3. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение (волокна и нити). – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 352 с.
4. Derringer G., Suich R. // Quality Technol. 1980. V.12. № 4. – P.494-498.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМОСТОЙКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ПРЯЖИ

П.А. Костин, А.С. Дягилев, А.Г. Коган

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

Статья посвящена оптимизации процесса дискретизации при получении комбинированной термостойкой электропроводящей пряжи. С помощью частных функций желательности Дэррингера решена задача многокритериальной оптимизации – выбор типа гарнитуры дискретизирующего барабанчика, обеспечивающей наилучшее сочетание физико-механических свойств комбинированной электропроводящей термостойкой пряжи.