ПРОИЗВОДСТВО КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ НИТЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ

A. Kogan, D. Ryklin, I. Malyutina

PRODUCTION OF COMBINED POLYPROPYLENE YARNS AND FINDING OF THEIR PROPERTIES

Как известно, особое место на современном этапе развития сырьевой базы для текстильной промышленности принадлежит полипропиленовым волокнам и нитям. Прежде всего потому, что они обладают рядом специфических свойств, не присущих другим синтетическим волокнам: их сравнительно легко переработать; они обладают низкой объемной плотностью (0,92 г/см^3), прекрасной устойчивостью к различным химикатам, кислотам, щелочам, хорошей стойкостью к истиранию, высокой изоляционной способностью, гидрофобностью, инертностью к воздействию микроорганизмов и др. [1].

В условиях кафедры ПНХВ Витебского государственного технологического университета разработан технологический процесс получения комбинированных нитей новой структуры на модернизированной машине ПБК с использованием полипропиленовых волокон и нитей. Данная технология позволяет вырабатывать комбинированные нити линейной плотностью 40 – 100 текс со скоростью выпуска 70 – 200 м/мин.

Технологическая схема пневматической прядильной машины ПБК-225-ШГ представлена на рис. 1.

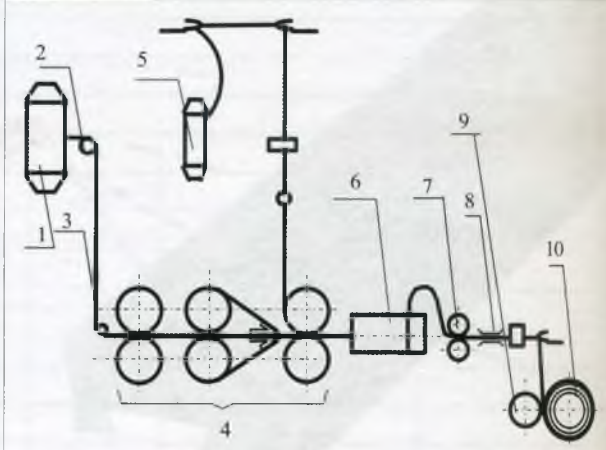
При проведении исследований в качестве сырья для производства комбинированных полипропиленовых нитей использовалась полипропиленовая камвольная сученая ровница линейной плотностью 310, 360 текс, полученная в условиях ОАО «Камволь», г. Минск и полипропиленовые комплексные нити линейной плотностью 34 текс.

Физико-механические свойства полипропиленовой ровницы и комплексных нитей представлены в таблицах 1 и 2.

Одной из особенностей комбинированных нитей аэродинамического способа формирования является их структура, которая представляет собой чередование по всей длине нити пневмоперепутанных мест (так называемых «ложных узлов»), в которых происходит взаимная фиксация волокон покрытия и элементарных нитей сердечника, и участков, образованных разъединенными волокнами покрытия. Структура нити определяет ее физико-механические и эксплуатационные свойства.

Обычно содержание комплексной химической нити в комбинированных нитях не превышает 30%, при этом волокно равномерно покрывает химическую нить, улучшая внешний вид изделий. При содержании комплексных химических нитей в комбинированной нити более чем 40% процесс формирования нити в аэродинамическом устройстве изменяется. В этом случае в аэродинамическом устройстве преобладает процесс пневмотекстурирования комплексной нити, с элементарными нитями которой перепутываются

Рисунок 1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРЯДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПБК-225-ШГ



1 - ровничная катушка с ровницей; 2 - направляющий пруток; 3 - уплотнительная воронка; 4 - вытяжной прибор; 5 - бобина с комплексной полипропиленовой нитью; 6 - аэродинамическое устройство; 7 - оттяжная пара; 8 - устройство контроля обрыва нити; 9 - мотальный барабанчик; 10 - выходная паковка.

А.Г. Коган
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ПНХВ Витебского государственного технологического университета, Республика Беларусь
Д.Б. Рыклин
к.т.н., доцент кафедры ПНХВ ВГТУ РБ
И.А. Малютина
аспирант кафедры ПНХВ ВГТУ РБ

Таблица 1 **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ КАМВОЛЬНОЙ РОВНИЦЫ**

Наименование показателя	Значение	
Линейная плотность полипропиленовой ровницы, текс	360	310
Отклонение фактической линейной плотности ровницы от номинальной, %	-4,8	-3,5
Линейная плотность полипропиленового волокна, текс	0,28	
Относительная разрывная нагрузка полипропиленового волокна, сН/текс	39,1	
Разрывное удлинение полипропиленового волокна, %	23	
Отклонение фактического разрывного удлинения волокна от номинального, %	-1,4	
Количество извитков полипропиленового волокна, шт/см	6,5	
Штапельная длина полипропиленового волокна, мм	91,2	
Фактическая влажность полипропиленового волокна, %	0,5	
Линейная усадка полипропиленового волокна, %	9	

Таблица 2 **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПП КОМПЛЕКСНЫХ НИТЕЙ**

Наименование показателя	Значение
Линейная плотность ПП нити, текс	34
Коэффициент вариации по линейной плотности ПП нити, %	5,9
Относительная разрывная нагрузка ПП нити, сН/текс	61,8
Относительное разрывное удлинение ПП нити, %	15,7
Число элементарных нитей в комплексной, шт	105

волокна. При этом элементарные нити стержневой нити в промежутках между «ложными узлами» образуют дополнительные петли. За счет чего комбинированные нити приобретают дополнительную объемность и пушистость.

При переработке нитей и эксплуатации готовых изделий из комбинированных нитей значительное влияние оказывают такие ее с войства как относительная разрывная нагрузка, разрывное удлинение, диаметр, объемность, равномерность по линейной плотности и др.

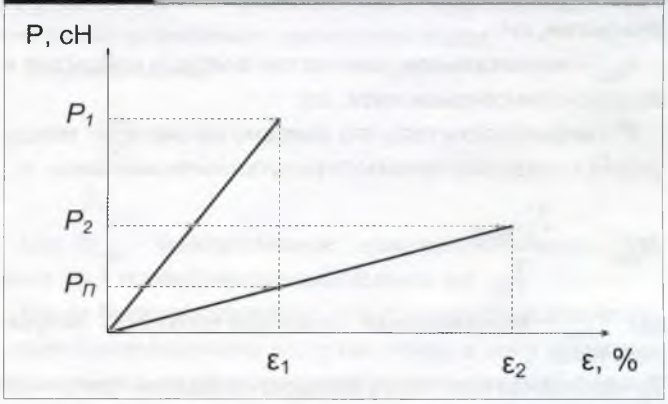
Специфическая структура комбинированных полипропиленовых нитей определяет особенности процессов их деформации и последующего разрыва. Можно предположить, что разрыв комбинированной нити будет происходить между двумя соседними пневмоперепутанными местами при условии, что суммарная прочность волокон, которые закреплены в обоих узлах, минимальна на разрывной длине. [2]

При исследовании процесса деформации были приняты следующие допущения:

- содержание комплексных химических нитей в комбинированной нити более чем 40%;
- удлинение волокон покрытия (ε_2) больше удлинения сердечника (ε_1);
- линейная плотность покрытия на участке комбинированной нити является случайной величиной, подчиняющейся нормальному закону распределения.

Рассмотрим растяжение комбинированной нити как одновременное растяжение двух различных компонентов: сердечника и покрытия. Разрывная прочность первого компонента – комплексной нити равна P_1, а второго компонента – волокон покрытия – P_2. Пусть кривая растяжения каждого компонента представляет собой прямую и $(P_1+Pп)>P_2$. (см. рис. 2)

Рисунок 2 **КРИВЫЕ РАСТЯЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОМБИНИРОВАННОЙ НИТИ**



Тогда формулу абсолютной разрывной нагрузки комбинированной нити аэродинамического способа формирования можно представить в виде:

$$P = P_C + P_П, \qquad [1]$$

где P_C – абсолютная разрывная нагрузка сердечника, сН; $P_П$ – величина нагрузки, действующая на покрытие при удлинении волокон на ε_1, сН.

Из рис. 2 видно, что величина нагрузки, действующая на покрытие при удлинении волокон на ε_1 равна

$$P_П = P_2 \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \eta, \qquad [2]$$

где P_2 – абсолютная разрывная нагрузка покрытия, сН; ε_1 – разрывное удлинение комплексной химической нити, %;

ε_2 – разрывное удлинение волокон покрытия, %;

η – понижающий коэффициент, учитывающий особенности структуры комбинированных нитей.

Абсолютная разрывная нагрузка покрытия определяется суммой разрывной нагрузки волокон, которые закреплены между двумя соседними пневмоперепутанными местами и силами сцепления, возникающих между волокнами покрытия и элементарными нитями сердечника в момент разрыва. Поскольку комбинированная нить имеет рыхлую структуру, силами сцепления можно пренебречь. [3]

Экспериментально доказано, что разрыв комбинированной нити будет происходить в самом тонком месте. Так как количество элементарных нитей в комплексной постоянно, то разрыв комбинированной нити будет происходить в том месте, где число волокон покрытия в поперечном сечении нити будет минимальным, при этом разрываться будут волокна, которые закреплены между двумя соседними пневмоперепутанными местами.

Следовательно,

$$P_2 = P_B \cdot n_{\min} \cdot P', \qquad [3]$$

где P_B – абсолютная разрывная нагрузка волокна покрытия, сН;

$n_{\min}$ – минимальное количество волокон покрытия в поперечном сечении нити, шт;

P' – вероятность того, что волокно закреплено между двумя соседними пневмоперепутанными местами.

$$n_{\min} = \frac{T_{П\min}}{T_B},$$

где $T_{Пmin}$ – минимальная линейная плотность покрытия, текс;

T_B – линейная плотность волокна покрытия, текс.

Используя принятое допущение, что линейная плотность покрытия на участке комбинированной нити является случайной величиной, подчиняющейся нормальному закону распределения и правилу «двух и трех сигм», согласно которому можно утверждать, что с вероятностью 0,954 все значения линейной плотности покрытия на участке комбинированной нити укладываются в интервале $T_П \pm 2\sigma(T_П)$, получаем, [4]:

$$n_{\min} = \frac{T_П - 2\sigma(T_П)}{T_B} = \bar{n} \cdot (1 - 2 \cdot Cv_{T_П}) = \bar{n} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{\sqrt{(Cv_{T_{КОМБ}} \cdot T_{комб})^2 - (Cv_{T_{КОМПЛ}} \cdot T_{компл})^2}}{T_П}\right), \qquad [4]$$

где $T_П$ – средняя линейная плотность покрытия, текс;

$\sigma(T_П)$ – среднеквадратическое отклонение линейной плотности покрытия, текс;

$\bar{n}$ – среднее количество волокон в поперечном сечении покрытия, шт;

$$\bar{n} = \frac{T_П}{T_B}$$

$Cv_{Tп}$ – коэффициент вариации по линейной плотности покрытия, %;

$Cv_{Tкомб}$ – коэффициент вариации по линейной плотности комбинированной нити, %;

$T_{комб}$ – средняя линейная плотность комбинированной нити, текс;

$Cv_{Tкомпл}$ – коэффициент вариации по линейной плотности комплексной нити, %;

$T_{компл}$ – средняя линейная плотность комплексной нити, текс.

Принимая допущение о том, что вероятность расположения ложного узла в любой точке длины волокна подчиняется равномерному закону распределения, и, учитывая, что конец волокна будет закреплен между двумя соседними пневмоперепутанными местами, если его длина превышает это расстояние, получаем, что вероятность того, что конец волокна будет закреплен между двумя соседними пневмоперепутанными местами равна:

$$P' = 1 - \frac{h}{\bar{\ell}} = 1 - \frac{1000}{\bar{M} \cdot \bar{\ell}},$$

где h – среднее расстояние между двумя соседними пневмоперепутанными местами, мм;

$\bar{\ell}$ – средняя штапельная длина волокна, мм;

$\bar{M}$ – среднее количество «ложных узлов» на 1 м комбинированной нити, шт.

см. формулу [5]

см. формулу [6]

Установлено, что в процессе формирования комбинированных нитей, элементарные нити комплексной нити перепутываются между собой, образуя внутренние петли, обеспечивающие разрывные характеристики сердечника, при этом происходит одновременное перепутывание элементарных нитей с концами волокон покрытия. В связи с изменением структуры комплексной нити происходит снижение разрывной нагрузки сердечника, следовательно

$$P_C = P_1 \cdot S, \qquad [7]$$

где P_C – абсолютная разрывная нагрузка сердечника, сН;

P_1 – абсолютная разрывная нагрузка комплексной

Тогда

$$P_2 = P_B \cdot \bar{n} \cdot (1 - 2 \cdot \frac{\sqrt{(Cv_{T_{комб}} \cdot T_{комб})^2 - (Cv_{T_{компл}} \cdot T_{компл})^2}}{T_П}) \cdot (1 - \frac{1000}{\overline{M} \cdot \bar{\ell}}) \quad [5]$$

Отсюда

$$P_П = P_B \cdot \bar{n} \cdot (1 - 2 \cdot \frac{\sqrt{(Cv_{T_{комб}} \cdot T_{комб})^2 - (Cv_{T_{компл}} \cdot T_{компл})^2}}{T_П}) \cdot (1 - \frac{1000}{\overline{M} \cdot \bar{\ell}}) \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \eta \quad [6]$$

нити, сН;

S - коэффициент, учитывающий снижение разрывной нагрузки комплексной нити в процессе пневмотекстурирования.

Установлено, что при формировании комбинированных нитей:

$$S = \frac{1 + \frac{\varepsilon_{комб}}{100} - \frac{H}{100}}{\left(1 + \frac{N}{100 - N}\right)\left(1 + \frac{\lambda \varepsilon_1}{100}\right)} \quad [8]$$

где $\varepsilon_{комб}$ - разрывное удлинение комбинированной нити, %;

H - нестабильность петельной структуры сердечника;

N - нагон при процессе формирования комбинированной нити, %;

λ - доля длины элементарной нити, участвующей в образовании внутренних петель (λ=0,9). [2]

Так как в процессе формирования элементарные нити дополнительно перепутываются с концами волокон покрытия с образованием «ложных узлов», то структура полученной комбинированной нити будет достаточно устойчивой. В связи с этим нестабильностью петельной структуры сердечника можно пренебречь.

Следовательно,

$$P_C = P_1 \cdot \frac{1 + \frac{\varepsilon_{комб}}{100}}{\left(1 + \frac{\lambda \varepsilon_1}{100}\right)} \cdot (1 - \frac{N}{100}) \cdot \quad [9]$$

Тогда формулу абсолютной разрывной нагрузки комбинированной нити аэродинамического способа формирования можно представить в виде:

см. формулу [10]

Фактическая разрывная нагрузка комбинированной нити меньше расчетной из-за структурной неровноты нити. Неровнота комбинированной нити по разрывной нагрузке вызвана случайным характером процесса образования «ложных узлов». То есть количество фактически сформированных «ложных узлов» на участке комбинированной нити будет меньше максимально-возможного количества узлов.

Следовательно,

$$\eta = \frac{\overline{M}}{M_{max}} \cdot \quad [11]$$

где M_{max} - максимальное количество «ложных узлов» на 1 м комбинированной нити, шт.

Ранее было установлено, что образование «ложного узла» более вероятно в случае, когда в зону действия радиальных струй попадает пучность стоячей волны. Это объясняется тем, что в центре перепутывающей камеры действие радиальной струи ослабевает из-за взаимодействия с другими струями.

Пусть частота вращения участка продукта в пневмоперепутывающей камере в единицу времени при известной величине ложной крутки К и скорости подачи продукта $V_п$ в аэродинамическое устройство определяется по формуле *[12]*

см. формулу [12]

$$P = P_1 \cdot \frac{1 + \frac{\varepsilon_{комб}}{100}}{1 + \frac{\lambda \cdot \varepsilon_1}{100}} \cdot (1 - \frac{N}{100}) + P_B \cdot \bar{n} \cdot (1 - 2 \cdot \frac{\sqrt{(Cv_{T_{комб}} \cdot T_{комб})^2 - (Cv_{T_{компл}} \cdot T_{компл})^2}}{T_П}) \cdot (1 - \frac{1000}{\overline{M} \cdot \bar{\ell}}) \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \eta \quad [10]$$

$$n = K \cdot V_{П} \cdot \qquad [12]$$

При этом за 1 минуту в аэродинамическом устройстве максимально формируется *nk* узлов, где *k* – количество радиальных каналов в камере. За это время из устройства отводится участок нити длиной V_O, где V_O - скорость оттяжки. [2]

Тогда

$$M_{\max} = \frac{k \cdot K \cdot V_{П}}{V_O}.$$

Однако в связи с особенностями процесса формирования полипропиленовых комбинированных нитей был проведен эксперимент, в результате которого установлено, что в этом случае оптимальным является центральное положение волокнистого материала в зоне действия радиальных струй воздуха. А так как в центре перепутывающей камеры действие радиальной струи ослабевает из-за взаимодействия с другими струями, то получаем, что за один оборот продукта максимально возможно образование одного «ложного узла».

Таким образом,

$$M_{\max} = \frac{K \cdot V_{П}}{V_O}.$$

Тогда,

$$\eta = \frac{\overline{M} \cdot V_O}{n} = \frac{\overline{M} \cdot V_O}{K \cdot V_{П}} = (1 - \frac{N}{100}) \cdot \frac{\overline{M}}{K} \quad . [13]$$

Следовательно, величину абсолютной разрывной нагрузки комбинированной нити можно определить по формуле

Расчетные и фактические значения относительной разрывной нагрузки комбинированных нитей приведены в таблице 3

Результаты расчета относительной разрывной нагрузки комбинированных полипропиленовых нитей по разработанной методике хорошо согласуются с экспериментальными данными (погрешность в пределах 5%). Следовательно, предложенная формула может быть рекомендована для определения разрывной нагрузки комбинированных полипропиленовых нитей.

За счет новой структуры и использования полипропиленовых волокон и нитей, комбинированные нити приобретают хорошие физико-механические и эксплуатационные свойства: высокие разрывные и деформационные характеристики; высокую теплоизоляционную способность, пушистость и повышенную объемность.

Литература

1. Перепелкин К.Е. Полипропиленовые волокна и нити; их применение в текстиле. / К.Е. Перепелкин // Директор. - 2001, №10 – С.28-29.

2. Рыклин Д.Б. «Производство многокомпонентных пряж и комбинированных нитей». / Д.Б. Рыклин, А.Г. Коган / Витебск: УО «ВГТУ»; 2002.-215 с.

3. Тимонова Е.Т Разработать и исследовать технологический процесс получения пряжи из отходов текстильного производства.: / Е.Т. Тимонова: Дис. ...к-та тех. наук: 05.19.02 - Витебск, 1998.-178 с.

4. Виноградов Ю.С. Сборник задач по применению математической статистики и теории вероятностей в текстильной и легкой промышленности. / Ю.С. Виноградов / М.: «Легкая индустрия», 1968.-266 с.

$$P = (1 - \frac{N}{100}) \left[P_1 \frac{(1 + \frac{\varepsilon_{комб}}{100})}{(1 + \frac{\lambda \cdot \varepsilon_1}{100})} + P_B \overline{n} (1 - 2 \frac{\sqrt{(Cv_{T_{комб}} \cdot T_{комб})^2 - (Cv_{T_{компл}} \cdot T_{компл})^2}}{100 T_{П}}) (1 - \frac{1000}{\overline{M} \cdot \overline{\ell}}) \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{\overline{M}}{K} \right] \qquad [14]$$

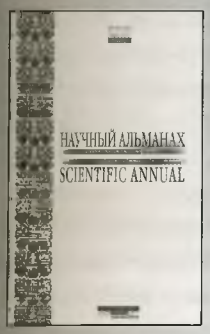
Тогда величину относительной разрывной нагрузки комбинированной нити аэродинамического способа формирования можно определить по формуле

$$P_O = (1 - \frac{N}{100}) \left[P_{O1} \frac{T_{компл}}{T_{комб}} \cdot \frac{(1 + \frac{\varepsilon_{комб}}{100})}{(1 + \frac{\lambda \cdot \varepsilon_1}{100})} + P_{OB} \frac{T_{П}}{T_{комб}} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} (1 - 2 \frac{\sqrt{(Cv_{T_{комб}} \cdot T_{комб})^2 - (Cv_{T_{компл}} \cdot T_{компл})^2}}{100 \cdot T_{П}}) (1 - \frac{1000}{\overline{M} \cdot \overline{\ell}}) \cdot \frac{\overline{M}}{K} \right]. \qquad [15]$$

где P_O – относительная разрывная нагрузка комбинированной нити, сН/текс;
P_{O1} – относительная разрывная нагрузка комплексной нити, сН/текс;
P_{OB} – относительная разрывная нагрузка волокон покрытия, сН/текс.

Таблица 3 **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ НИТЕЙ**

Наименование показателя	Значение		
Линейная плотность покрытия, текс	38	32	26
Линейная плотность комбинированной полипропиленовой нити, текс	72	66	60
Коэффициент вариации по линейной плотности комбинированной полипропиленовой нити, %	4,0	3,9	5,4
Величина ложной крутки в пневмовьюрковой камере, кр/м	100		
Величина нагона, %	6,19	6,19	5,83
Относительное разрывное удлинение комбинированной полипропиленовой нити, %	19,03	18,71	19,4
Количество «ложных узлов», шт/м	100,8	101,4	99,8
Относительная разрывная нагрузка комбинированной полипропиленовой нити, сН/текс	38,4	39,2	41,9
Расчетное значение относительной разрывной нагрузки комбинированной полипропиленовой нити, сН/текс	39,2	40,85	42,3
Отклонение расчетного значения относительной разрывной нагрузки комбинированной полипропиленовой нити от фактического, %	2,0	4,0	0,9



Уважаемые авторы!

"Научный альманах", выходит 2 раза в год и соответствует номерам журнала 4 и 8.

Требования к статье:

1. Набор текста осуществляется в формате Word шрифт Times New Roman кегль 12, без дополнительного форматирования (выравнивания и т.д.), красная строка проставляется клавишей Tab. Объем статьи до 20000 знаков.

2. 1-й файл содержит статью, включая все таблицы, графики и рисунки (если таковые есть). Все вставляемые элементы: графики, таблицы, формулы и др. иллюстрации нумеруются. В тексте делается пробел (пропускается строка), на следующей строке необходимо написать название вставляемого элемента (например: формула 2), затем вновь пропускается строка.
3. 2-й файл содержит только текст без таблиц, графиков и рисунков.
4. Все вставляемые элементы необходимо оформить отдельными файлами, название файла соответствует названию элемента (например: формула 2).
5. Имена авторов указать с научными степенями и званиями. Название статьи и ФИО авторов представляются на русском и английском языках.
6. Статьи, публикуемые в журнале, оплачиваются. Стоимость статьи 3000-00 руб. (три тысячи рублей). Если статья содержит формулы вводится коэффициент сложности равный 1,5 или 2 (в зависимости от объема сложности).

Письмо со статьей можно прислать по электронной почте на адрес: nauka@textilinfo.ru

В теме письма указать: статья для «Научного альманаха».

В теле письма написать от кого статья (фамилию, имя, отчество) с координатами на случай согласования редакторской правки (телефон с кодом, адрес работающей электронной почты), эту же информацию просьба повторить в конце статьи.

Конечное решение о публикации статьи принимает научный редакционный совет журнала.