

677.022

Д 99

Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

УДК 677.022.484.4



**ДЯГИЛЕВ  
АНДРЕЙ СТЕПАНОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ВЫСОКОРАСТЯЖИМОЙ ПРЯЖИ  
ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ПРЯДЕНИЯ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных  
материалов и сырья (технические науки)

Витебск, 2009



12  
еждения образования  
енный технологический университет»

коган Александр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прядение натуральных и химических волокон» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

Николаев Сергей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного текстильного университета имени А.Н. Косыгина, заведующий кафедрой ткачества, заслуженный деятель науки Российской Федерации;

Бондарева Татьяна Петровна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой ткачества учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация:

Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Центр научных исследований легкой промышленности» г. Минск, Республика Беларусь

Защита состоится «15» июня 2010 г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций К 02.11.01 в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» по адресу:  
210035, г. Витебск, Московский проспект, 72, ауд. 210; e-mail: vstu@vitebsk.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Автореферат разослан « 12 » \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 2010 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций К 02.11.01,  
кандидат технических наук, доцент

Г. В. Казарновская



## Общая характеристика работы

Непрерывно растёт применение эластомерных нитей в текстильной промышленности. Это стимулирует создание новых типов текстильных материалов и одежды, которая более комфортна, менее сминаема и отличается большей облегаемостью по сравнению с традиционными тканями и трикотажными полотнами. Однако переработка эластомерных нитей в чистом виде в ассортименте тканых и трикотажных изделий требует использования специализированного оборудования. Кроме того, эластомерные нити обладают низкими показателями гигиенических свойств, неустойчивы к температурным воздействиям, в результате чего подвержены старению.

Одним из перспективных направлений текстильной промышленности является производство комбинированных нитей и пряжи, содержащих натуральные и химические волокна. Высокорастяжимая комбинированная пряжа и изделия из нее обладают особыми деформационными свойствами, а также свойствами, присущими и натуральным, и химическим волокнам, изделия обладают хорошими гигиеническими свойствами, высокой устойчивостью к истиранию и многократным деформациям растяжения и изгиба, малой сминаемостью и имеют хороший внешний вид.

Данная работа посвящена актуальной проблеме – разработке технологии комбинированной высокоэластичной пряжи, не выпускаемой в Республике Беларусь, а также исследованию ее физико-механических свойств. В диссертационной работе рассмотрены вопросы разработки технологии комбинированной высокоэластичной пряжи с использованием эластомерных нитей марки Дорластан, описаны теоретические и экспериментальные исследования процесса формирования комбинированной высокоэластичной пряжи на пневмомеханической прядильной машине.

### Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с:

- отдельным инновационным проектом по заданию концерна «Беллепром» по теме «Разработать технологический процесс получения комбинированных высокоэластичных нитей пневмомеханического способа прядения» (срок выполнения 28.03.2005 – 30.09.2006 г.) № ГР20051322;

- отдельным инновационным проектом по заданию концерна «Беллепром» по теме «Освоение в производстве технологии получения комбинированных высокоэластичных нитей и создание с их использованием платьевно-костюмного ассортимента изделий» (срок выполнения 1 кв. 2007 – 4 кв 2007 г.) № ГР20071034;

- госбюджетной научно-исследовательской работой 2006-ВПД-049 «Моделирование задач легкой промышленности с использованием пакетов

прикладных программ» (срок выполнения 1 кв. 2006 – 4 кв 2010 г.) № ГР2006617.

### **Цель и задачи исследования**

Целью настоящего исследования явилась разработка технологии комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа формирования средней линейной плотности для ассортимента текстильных изделий бытового назначения. В соответствии с указанной целью были поставлены и решены следующие задачи:

- выбрать сырьевой состав компонентов для получения комбинированной высокоэластичной пряжи;
- разработать технологию комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения;
- модернизировать пневмомеханическую прядильную машину для получения комбинированной высокоэластичной пряжи средних линейных плотностей;
- провести оптимизацию параметров технологического процесса прядения для выработки комбинированной высокоэластичной пряжи с физико-механическими свойствами, удовлетворяющими требованиям, предъявляемым в процессе ткачества;
- разработать метод расчета относительной разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи, учитывающую физико-механические свойства исходных компонентов, позволяющую осуществить научно обоснованный выбор сырья для компонентов комбинированной высокоэластичной пряжи;
- внедрить в производство технологию комбинированной высокоэластичной пряжи на пневмомеханической прядильной машине.

**Объектом** исследования являлась комбинированная высокоэластичная пряжа пневмомеханического способа формирования.

**Предметом** исследования являлся технологический процесс получения комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения.

### **Положения, выносимые на защиту**

Технология комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения, позволяющая получать пряжу средних линейных плотностей пневмомеханическим способом формирования с использованием комплексных полиуретановых нитей.

Модернизированная пневмомеханическая прядильная машина, отличающаяся от существующей наличием узлов подачи эластомерной нити и устройством прядильного блока.



Структура разработанной комбинированной высокоэластичной пряжи средних линейных плотностей пневмомеханического способа формирования с использованием комплексных полиуретановых нитей для переработки в ткачестве.

Метод прогнозирования относительной разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения, позволяющая получать комбинированную высокоэластичную пряжу с заданной относительной разрывной нагрузкой.

Оптимальные параметры технологического процесса формирования комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханическим способом, отвечающей требованиям, предъявляемым в процессе ткачества.

### **Личный вклад соискателя**

Соискателем лично:

- разработана технология комбинированной высокоэластичной пряжи средних линейных плотностей из комплексных полиуретановых нитей и хлопчатобумажного компонента на пневмомеханической прядильной машине, позволяющая расширить ассортимент продукции, выпускаемой на пневмомеханических прядильных машинах;

- разработана структура комбинированной высокоэластичной пряжи средних линейных плотностей с использованием комплексных полиуретановых нитей для ткацкого производства;

- разработаны конструкции устройств подачи эластомерной нити на пневмомеханической прядильной машине, позволяющие подавать эластомерную нить в рабочую область прядильной камеры с заданным коэффициентом предварительного растяжения;

- исследован процесс прядения комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа формирования и разработана компьютерная имитационная модель, позволяющая определить рациональные параметры процессов дискретизации, транспортировки, сложения волокнистого продукта при формировании обкручивающего компонента комбинированной высокоэластичной пряжи;

- исследовано влияние параметров технологического процесса на физико-механические свойства комбинированной высокоэластичной пряжи и разработана метод прогнозирования относительной разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи, позволяющая получать комбинированную высокоэластичную пряжу с заданной относительной разрывной нагрузкой;

- проведена оптимизация технологического процесса и определены рациональные значения заправочной крутки и предварительного растяжения эластомерной нити при формировании комбинированной высокоэластичной пряжи, отвечающей требованиям, предъявляемым в процессе ткачества.

## **Апробация результатов диссертации**

Основные результаты работы представлены и получили положительную оценку на: III Белорусской научно-практической конференции «Научно-технические проблемы развития химических волокон в Беларуси» (Могилев, 2006); Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения» (Димитровград, 2007); Международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (Иваново - 2007); семинаре, посвященном 100-летию со дня рождения Г. Н. Кукина (Москва, МГТУ им. А. Н. Косыгина, октябрь 2007 г.); Международной научно-технической конференции «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» (Витебск, ноябрь 2009); научно-технических конференциях преподавателей и студентов УО «ВГТУ» (2005-2009гг.); заседаниях кафедры ПНХВ УО «ВГТУ» (2005-2009гг.);

Апробация результатов диссертационных исследований осуществлена на текстильных предприятиях Республики Беларусь РУП «БПХО» и ОАО «ГРОНИТЕКС»; результаты внедрены в учебный процесс УО «ВГТУ».

## **Опубликованность результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликована 21 печатная работа общим объемом 5,1 авторских листа, в том числе 6 тезисов докладов и 10 статей (9 статей в научных изданиях, включенных в перечень изданий, утвержденных ВАК РБ). Получен патент на полезную модель «Комбинированная высокорастяжимая нить» (пат. Республики Беларусь, МПК D 02 G 3/00/ заявка № u20060716 заявл. 02.11.2006; опубл. 10.01.2007г.), получен патент на полезную модель «Пневмомеханическая прядильная машина» (пат. Республики Беларусь, МПК D 01 G 11/00 заявка № u20060633 заявл. 04.10.2006г.; опубл. 10.05.2007г.).

## **Структура и объем диссертации**

Работа содержит введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и приложения. Общий объем работы составляет 231 страницу, включая 93 рисунка, 25 таблиц и 16 приложений, представленных на 80 страницах. В работе даны ссылки на 125 библиографических источников.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

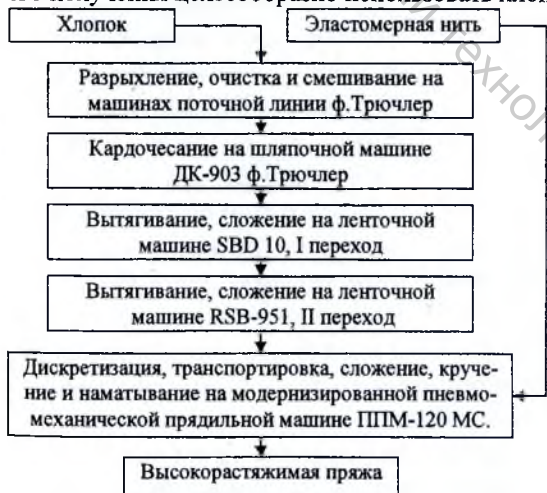
**В первой главе** проведен анализ патентной и технической литературы по вопросу получения комбинированной высокорастяжимой пряжи различными способами формирования. Отмечено, что имеющиеся способы получения

данного вида пряжи отличаются энергоемкостью и трудоемкостью, а пряжи, получаемые с помощью этих способов, обладают невысокой объемностью, неравновесностью или большой линейной плотностью. Так же отмечено, что перспективным является пневмомеханический способ формирования, который обладает невысоким энергопотреблением и высокой производительностью.

Специализированные прядильные машины для производства комбинированной высокоэластичной пряжи не производятся в Республике Беларусь, в связи с чем становится актуальной задача разработки нового технологического процесса на базе парка пневмомеханических прядильных машин, установленных на текстильных предприятиях Республики Беларусь.

Вторая глава посвящена разработке технологии комбинированной высокоэластичной пряжи на пневмомеханических прядильных машинах ППМ-120 и ВД-200. Изучены специфические свойства эластомерных нитей и исходного сырья для получения обкручивающего компонента комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения.

Сырье для обкручивающего компонента выбирается исходя из назначения комбинированной пряжи. Так как гигиенические и органолептические свойства комбинированной высокоэластичной пряжи практически полностью определяются свойствами обкручивающего компонента, в качестве сырья для его получения целесообразно использовать хлопковое волокно.



**Рисунок 1 – Технологическая цепочка производства комбинированной высокоэластичной пряжи**

Под руководством профессора А.Г. Когана в условиях РУП «БПХО» был разработан технологический процесс получения комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения [2, 11, 13, 16].

На рисунке 1 представлена схема технологической цепочки производства комбинированной высокоэластичной пряжи. Хлопковое волокно проходит через стандартные подготовительные операции при подготовке к пневмомеханическому прядению и подается на пневмомеханическую прядильную машину в виде ленты. Эластомерная нить подается непосредственно в процессе пневмомеханического прядения, где совмещаются технологические процессы кручения волокнистого



компонента и обкручивания им эластомерной нити. На выходе технологического процесса – комбинированная высокоэластичная пряжа.

На кафедре ПНХВ УО «ВГТУ» совместно с А.Г. Коганом и Р.В. Киселевым разработана и запатентована [14, 20] конструкция пневмомеханической прядильной машины, отличающаяся от существующей наличием узлов подачи эластомерной нити.

Технологическая схема процесса получения высокоэластичной комбинированной пряжи пневмомеханическим способом прядения представлена на рисунке 2. Лента 2 подается из таза 1 через уплотняющую воронку 3, выполненную в виде конфузора, к питающему цилиндру 5. Пройдя через уплотняющую воронку, лента прижимается к питающему цилиндру прижимным столиком 4 и подается к дискретизирующему барабанчику 6 с пильчатой гарнитурой. В результате контакта зубьев дискретизирующего барабанчика с лентой, зажатой между питающим цилиндром и прижимным столиком, лента разделяется на отдельные волокна. Благодаря радиальным отверстиям 10

**Рисунок 2 – Технологическая схема процесса получения комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханическим способом прядения**

в прядильной камере 8 в результате ее вращения создается разрежение, прядильная камера работает как центробежный вентилятор, в результате чего достигается стабильность разрежения на каждом прядильном устройстве. Далее по пневмоканалу 7 дискретный поток волокон подается в прядильную камеру, затем под действием центробежных сил скользит по клиновидному желобу камеры 9, где происходит циклическое сложение дискретного потока волокон.

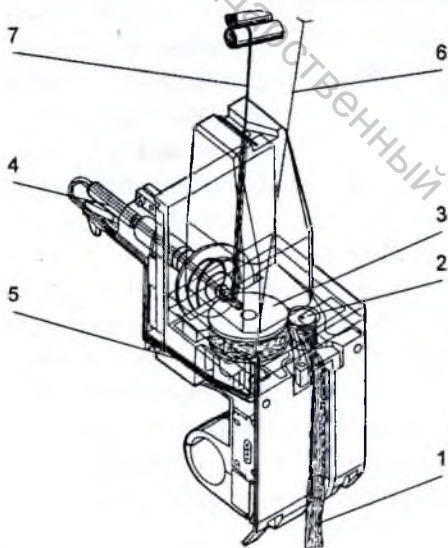
Для заправки машины на патрон для наковки с нарабатываемой комбинированной высокоэластичной пряжей 19 наматывается заправочная неэластичная нить, ее свободный конец через выпускную пару 17 вводится в прядильную камеру



через пряжевыводной канал. Патрон с наработываемой комбинированной высокоэластичной пряжей опускается на раскатывающий вал, нить глубже опускается в отводящий канал, ее свободный конец попадает в прядильную камеру 8 и центробежной силой отбрасывается на клиновидный желоб камеры. Нить начинает вращаться вместе с волокнистой ленточкой 9, скручивается с ней и начинает выводиться из прядильной камеры.

С паковки 15 эластомерная нить 14 подается через специальный нитепроводящий канал 13, предотвращающий контакт эластомерной нити с вращающимся ротором прядильной камеры 12, в рабочую область прядильной камеры 8. Во время установившегося технологического процесса эластомерная нить, проходя через прядильную камеру 8, выводится через отводящий канал прядильной камеры.

Волокнистая ленточка вращается вместе с желобом прядильной камеры и, приобретая крутку, обкручивает эластомерный сердечник. Комбинированная пряжа проходит через отводящий канал, выводится из камеры выпускной парой 17 и с помощью мотального вала 18 наматывается на цилиндрическую паковку 19.



1 – лента; 2 – питающий цилиндр; 3 – дискретизирующий барабанчик; 4 – ротор с осевым нитепроводящим каналом; 5 – направляющая трубка; 6 – эластомерная нить; 7 – комбинированная высокоэластичная пряжа.

**Рисунок 3 – Модернизированный прядильный блок**

использоваться как для модернизации отдельных прядильных блоков, так и всей пневмомеханической прядильной машины. Для выпуска опытной партии пряжи разработано устройство принудительной подачи эластомера с приводом

На рисунке 3 представлен модернизированный прядильный блок. Ротор прядильной камеры 4 изготавливается с осевым отверстием, в котором закреплена нитепроводящая трубка предотвращающая контакт эластомерной нити с вращающимся ротором. На конструкцию ротора модернизированной прядильной камеры разработан пакет конструкторской документации. Для подачи эластомерной нити 6 в канал ротора 4, доступ к которому затруднен во время работы прядильной машины, устанавливается направляющая трубка 5.

Для подачи эластомерной нити в рабочую зону прядильной камеры были разработаны конструкции устройств принудительной подачи, которые могут

от мотального вала прядильной машины. Для модернизации всей прядильной машины в верхней части устанавливаются раскатывающие валы, которые приводятся во вращение электродвигателем через понижающий редуктор. На устройство подачи эластомерной нити с использованием раскатывающих валов разработан пакет конструкторской документации.

В условиях РУП «БПХО» совместно с В.П. Троицким и Р.В. Киселевым была проведена модернизация пневмомеханической прядильной машины ВД-200.

Таблица 1 – Формулы для расчета параметров формирования комбинированной высокорастяжимой пряжи

Описание	Формула
Коэффициент растяжения эластомерной нити, %	$k_{з.ф} = \frac{v_{в.в}}{v_{р.в}} \cdot 100$
Заправочная крутка комбинированной высокорастяжимой пряжи, кр/м	$K_{кп} = \frac{n_{п.к}}{v_{в.в}} + \Delta K_{кп}$
Линейная плотность комбинированной пряжи, текс	$T_{кп} = T_{о.к} + \frac{T_{зп}}{k_{з.ф}} \cdot 100$
Содержание эластомерной нити, %	$X_{зп} = \frac{T_{зп} \cdot 100}{k_{з.ф} \cdot T_{о.к} / 100 + T_{зп}}$

В таблице 1 приведены формулы для расчета параметров формирования комбинированной высокорастяжимой пряжи пневмомеханического способа прядения, где  $v_{в.в}$  – скорость выпускных валиков, м/мин;  $v_{р.в}$  – скорость раскатного вала м/мин;  $n_{п.к}$  – частота вращения прядильной камеры,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $T_{о.к}$  – линейная плотность обкручивающего компо-

нента;  $T_{зп}$  – линейная плотность эластомерной нити.

Поскольку процесс кручения формируемой пряжи совмещен с процессом обкручивания эластомерной нити [2, 3, 9], то количество кручений формируемого обкручивающего компонента вокруг собственной оси  $K$  равно количеству его оборотов вокруг эластомерной нити  $K_{кп}$ , кр/м. Как отмечается в работах профессоров Й. Рипки и Ф.М. Плеханова, крутка волокнистого компонента имеет постоянное приращение к заправочной крутке  $\Delta K_{кп}$ , для пневмомеханических прядильных машин ППМ-120 и ВД-20 при радиусе прядильной камеры  $r_k = 0,0325\text{ м}$ . приращение крутки составляет  $\Delta K_{кп} \approx 4,897$  кр/м.

На формируемую комбинированную высокорастяжимую пряжу получен патент [21].

Третья глава посвящена теоретическому исследованию процесса формирования комбинированной высокорастяжимой пряжи пневмомеханического способа прядения, а также анализу геометрических и прогнозированию физико-механических свойств комбинированной высокорастяжимой пряжи пневмомеханического способа формирования.

Для исследования параметров процесса прохождения волокнистого продукта через прядильную камеру на основе теоретических выкладок приведен

ных в работах профессоров А.Г. Севостьянова, И.Г. Борзунова, В. Роглены, Ф.М. П्लеханова, Н.Н. Труевцева, И. Рипки, Я. Кашпарека была разработана компьютерная имитационная модель, в которой происходит имитация:

- прохождения ленты через дискретизирующее устройство, разделения ее на отдельные волокна и образования потока не контактирующих друг с другом волокон, который транспортируется в прядильную камеру;

- циклического сложения дискретного потока в кольцевую волокнистую ленточку. Также получена упрощенная аналитическая зависимость для пересчета координат передних концов волокон при переходе из ленты в волокнистую ленточку в процессе формирования волокнистого компонента комбинированной пряжи:

$$x_{i_{\text{лс}}} = \left( \frac{v_{\text{вв}}}{K_y n_{\text{пк}}} - \pi D_{\text{пк}} \right) \cdot \left\lfloor \frac{x_i v_{\text{пк}}}{\pi D_{\text{пк}} v_{\text{пк}}} \right\rfloor + \frac{x_i v_{\text{пк}}}{v_{\text{пк}}}, \quad (1)$$

где  $x_{i_{\text{лс}}}$  – координата переднего конца волокна в волокнистой ленточке;  $v_{\text{вв}}$  – скорость выпускных валиков, м/мин;  $n_{\text{пк}}$  – частота вращения прядильной камеры, мин<sup>-1</sup>;  $x_i$  – координата переднего конца волокна в ленте, м;  $D_{\text{пк}}$  – диаметр прядильной камеры, м;  $v_{\text{пк}}$  – скорость питающего цилиндра, м/мин;  $v_{\text{пк}}$  – скорость прядильной камеры, м/мин;  $\lfloor \rfloor$  – операция округления в меньшую сторону;

- расположения отдельных волокон в обкручивающем компоненте комбинированной пряжи после получения им крутки.

Имитационная модель позволяет рассчитать параметры и оценить интенсивность процессов дискретизации, транспортировки, сложения волокнистого продукта в процессе прохождения через пневмомеханическую прядильную машину, а также получить геометрические координаты отдельных волокон в обкручивающем компоненте комбинированной высокоэластичной пряжи.

Проведен анализ и получена математическая модель волокна в обкручивающем компоненте комбинированной пряжи. На рисунке 4 представлен график зависимости длины проекции волокон различной длины, находящихся в обвивочном слое обкручивающего хлопчатобумажного компонента линейной плотности 45 текс, на его продольную ось.

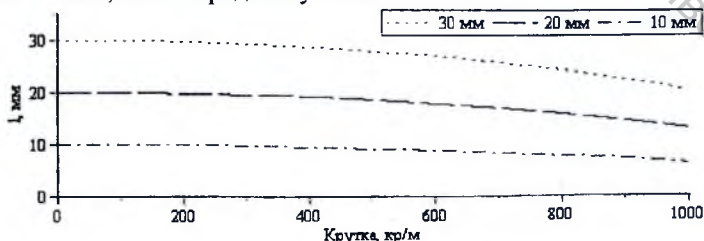
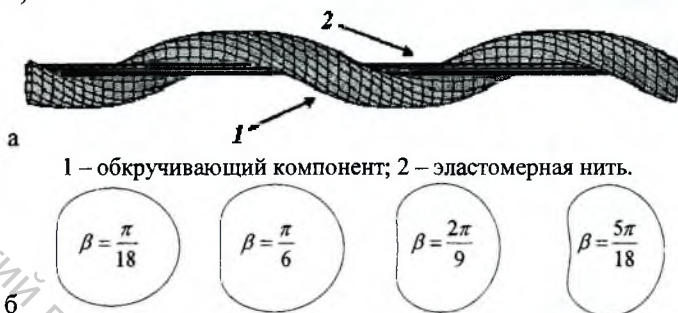


Рисунок 4 – Зависимость длины проекции волокна на продольную ось пряжи от крутки при различной длине волокна

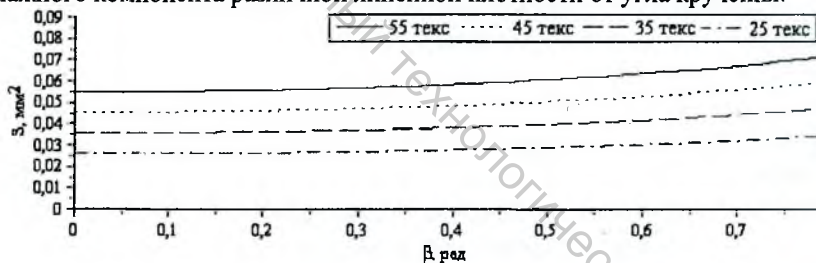
Разработаны математические модели [1, 4], описывающие связь между параметрами технологического процесса прядения комбинированной пряжи и геометрической структурой комбинированной высокоэластичной пряжи (рисунок 5).



а – расположение компонент комбинированной пряжи; б – деформированное сечение обкручивающего компонента при различных углах крутки.

**Рисунок 5 – Трехмерная компьютерная модель комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения**

На рисунке 6 представлены полученные в результате моделирования графики изменения площади поперечного сечения обкручивающего хлопчатобумажного компонента различной линейной плотности от угла кручения.



**Рисунок 6 – Зависимость площади поперечного сечения обкручивающего компонента от угла кручения**

Под руководством профессора А.Г. Когана было проведено теоретическое исследование процессов, происходящих при формировании комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. Определен характер влияния геометрии нитепроводящего канала на натяжение эластомерной нити. Установлено, что выравнивание эластомерной нити относительно оси канала в роторе прядильной камеры не оказывает существенного влияния на процесс формирования комбинированной пряжи.

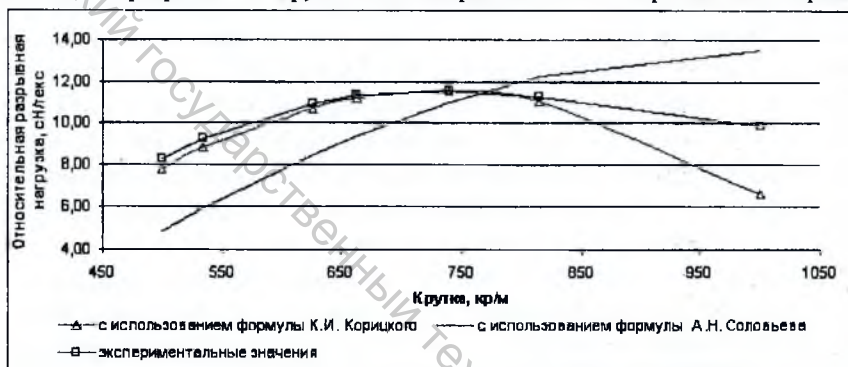
Для нового вида комбинированной пряжи актуальна задача прогнозирования относительной разрывной нагрузки [5, 10]. В условиях РУП «БПХО» были проведены исследования разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. Исследования прово-



дились на автоматизированной разрывной машине Uster TensoRapid 3.

При прогнозировании относительной разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи за основу была взята формула профессора А.Г. Когана. Для прогнозирования относительной разрывной нагрузки хлопчатобумажного компонента пневмомеханического способа прядения использовались формулы А.Н. Соловьева (с поправкой для пневмомеханического способа прядения) и К.И. Корицкого. Также использовалась формула К.И. Корицкого для относительного разрывного удлинения хлопчатобумажной пряжи пневмомеханического способа прядения.

На рисунке 7 приведены расчетные и экспериментальные значения относительной разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи.



**Рисунок 7 – Прогнозируемые значения относительной разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи**

Таким образом, формула для расчета относительной разрывной нагрузки имеет вид [10]:

$$P_{\text{вкл}} = \left( 3,9 - \frac{4}{\sqrt{T_{\text{к.б.}}}} \right) \sqrt{\Delta_0} \cdot k + P_{\text{эл.}} \cdot \left( \frac{T_{\text{эл.}}/k_{\text{эл.ф.}}}{T_{\text{к.б.}}/100 + T_{\text{эл.}}/k_{\text{эл.ф.}}} \right) \cdot \left( 1 + \frac{(11,7 + 0,097T_{\text{к.б.}}) \Delta_0^{-1/3} k}{100} \right), \quad (2)$$

где  $T_{\text{к.б.}}$  – линейная плотность обкручивающей хлопчатобумажной пряжи, текс;  $T_{\text{эл.}}$  – линейная плотность эластомерной нити, текс;  $\Delta_0$  – показатель геометрических свойств волокна;

$$\Delta_0 = 0,1l_b(1,25 - 0,015l_b) \cdot (z/\sqrt{T_b}), \quad (3)$$

$l_b$  – штапельная массодлина волокна, мм;  $z$  – коэффициент зрелости волокна;  $T_b$  – линейная плотность хлопкового волокна, текс;  $k$  – поправка на крутку:

$$k = 1 - \left( \frac{\alpha_{T_{\text{к.б.}}} - \alpha_T}{76 - \alpha_{T_{\text{к.б.}}}} \right)^2, \quad (4)$$

$\alpha_T$  – коэффициент крутки;  $\alpha_{T_{\text{к.б.}}}$  – критический коэффициент крутки:

$$\alpha_{T_{\text{к.б.}}} = 31,6 \sqrt{\Delta_0^4 T_{\text{к.б.}}}, \quad (5)$$

$k_{\text{ст.ф}}$  – растяжение эластомерной нити при формировании, %;  $P_{0\text{эл}}$  – относительная растягивающая нагрузка эластомерной нити при формировании комбинированной пряжи, сН/текс.

Формула (2) дает расхождение с экспериментальными значениями в пределах 5% в области докритических и критических круток, что позволяет получать комбинированную высокорастяжимую пряжу с заданной относительной разрывной нагрузкой.

**Четвертая глава** посвящена исследованию физико-механических свойств комбинированной высокорастяжимой пряжи пневмомеханического способа прядения.

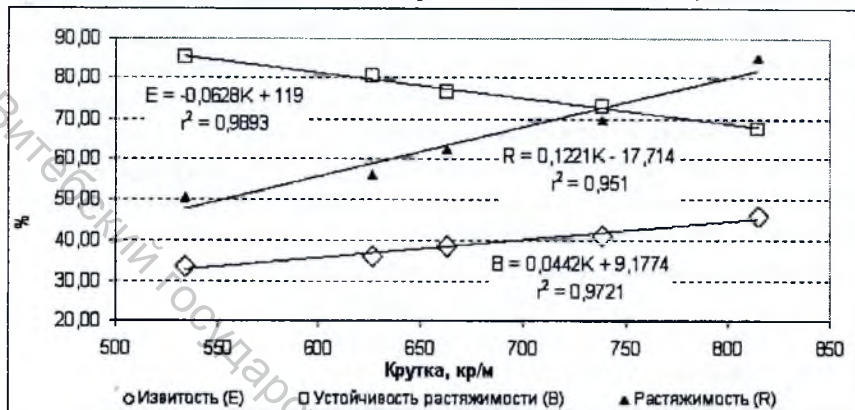
Так как порядок проведения испытаний для определения эластомерных свойств комбинированной высокорастяжимой пряжи не установлен нормативными документами, то был проведен анализ существующих нормативных документов, а также работ профессоров Ф.Х. Садыковой и В.А. Усенко. Было установлено, что наиболее близкими по эластомерным свойствам к комбинированной высокорастяжимой пряже являются текстурированные нити. В результате экспериментальных исследований определялись: показатель извитости ( $E$ , *степень эластичности*), растяжимость ( $B$ ), устойчивость растяжимости ( $R$ , *доля обратимой деформации в абсолютной деформации*).

На рисунке 8 представлены зависимости извитости, доли обратимой деформации в абсолютной деформации и растяжимости комбинированной высокорастяжимой пряжи пневмомеханического способа прядения от предварительного растяжения эластомерного компонента [19]. Линейная плотность волокнистой составляющей 45 текс, линейная плотность эластомерной нити Дорластан 15 текс, крутка 750 кр/м.



Рисунок 8 – Влияние предварительного растяжения эластомерного компонента на эластомерные свойства комбинированной высокорастяжимой пряжи

На рисунке 9 представлены зависимости эластомерных свойств комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения от крутки волокнистого компонента (линейная плотность волокнистой составляющей 45 текс, линейная плотность эластомерной нити Дорластан 15 текс, предварительное растяжение эластомерного компонента 300 %).



**Рисунок 9 – Влияние крутки на эластомерные свойства комбинированной высокоэластичной пряжи при предварительном растяжении эластомерного компонента 300 %**

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлен характер изменения физико-механических свойств комбинированной высокоэластичной пряжи от параметров технологического процесса и состава обкручивающего компонента и получены статистически значимые уравнения регрессии [5, 11, 9]. Установлено, что:

- увеличение крутки комбинированной пряжи приводит к увеличению растяжимости комбинированной пряжи;
- увеличение крутки до критических значений для хлопчатобумажной пряжи приводит к увеличению разрывной нагрузки, дальнейшее увеличение крутки приводит к уменьшению разрывной нагрузки;
- с ростом растяжения эластомерной нити при формировании комбинированной пряжи увеличивается разрывная нагрузка, разрывное удлинение и растяжимость комбинированной пряжи;
- при использовании эластомерной нити Дорластан линейной плотности 15 текс зависимость растяжимости комбинированной пряжи от растяжения эластомерной нити при формировании носит характер, близкий к линейному, при растяжении эластомерной нити до 400%;
- доля обратимой деформации в полной деформации уменьшается с увеличением растяжения эластомерной нити при формировании по линейному закону;
- усадка комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического

го способа прядения определяется главным образом усадкой эластомерной нити в ее структуре.

В условиях РУП «БПХО» был проведен полный факторный эксперимент:  $X_1$  – заправочная крутка (500-1000, интервал варьирования 250), кр/м;  $X_2$  – предварительное натяжение эластомерной нити (200-400, интервал варьирования 100), %.

Произведена статистическая обработка экспериментальных данных с использованием пакета программ «STATISTICA 8.0», определены основные критерии оптимизации, получены статистически значимые уравнения регрессии. Регрессионные модели физико-механических свойств комбинированной высокорастяжимой пряжи пневмомеханического способа прядения, состоящей из волокнистого компонента линейной плотности 45 текс и эластомерной нити Дорластан линейной плотности 15 текс:

- для разрывной нагрузки:

$$F_r = 589.057 + 73.650X_1 + 19.950X_2 - 104.573X_2^2, \quad (6)$$

- для коэффициента вариации по разрывной нагрузке:

$$F_{c_{вр}} = 10.480 + 0.282X_1 + 0.327X_2^2, \quad (7)$$

- для коэффициента вариации по линейной плотности:

$$F_{c_{вт}} = 7.557 + 1.095X_1X_2, \quad (8)$$

- для растяжимости:

$$F_R = 79.153 + 38.730X_1 + 76.821X_2 + 34.437X_1X_2 + 18.938X_2^2, \quad (9)$$

- для устойчивости растяжимости:

$$F_B = 8.405 + 0.673X_1 + 1.528X_2 - 0.440X_2^2. \quad (10)$$

Разработана программа в системе компьютерной математики «Maple 13», позволяющая определить область Парето (рисунок 10) и оптимальные значения заправочной крутки комбинированной пряжи и предварительного растяжения эластомерной нити при формировании комбинированной высокорастяжимой пряжи, с использованием метода условного центра масс [12].

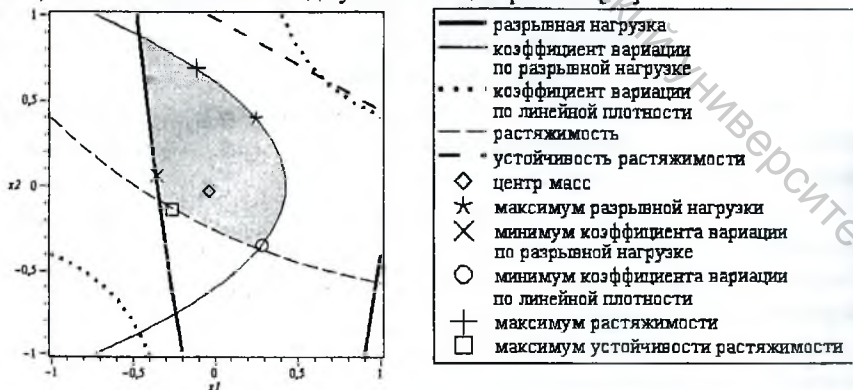


Рисунок 10 – Совмещенный график линий равного уровня поверхностей отклика и область Парето



Установлено, что для получения комбинированной высокоэластичной пряжи, состоящей из хлопчатобумажного обкручивающего компонента линейной плотности 45 текс и эластомерной нити Дорластан 15 текс, оптимальными являются: заправочная крутка комбинированной пряжи – 740 кр/м; предварительное растяжение эластомерной нити – 315 %.

Пятая глава посвящена вопросу переработки комбинированной высокоэластичной пряжи в ткачестве. В условиях РУП «БПХО» проведена опытная переработка комбинированной высокоэластичной пряжи линейной плотностью 50 текс в ткань саржевого переплетения со «стретч» эффектом, что позволяет расширить ассортимент тканей, вырабатываемых на оборудовании, установленном на ткацком производстве РУП «БПХО». Установлено, что для отделки ткани с вложением разработанной комбинированной высокоэластичной пряжи достаточно стандартных операций обработки для тканей с вложением эластомерных нитей марки Дорластан.

Проведен расчет экономического эффекта от внедрения технологии комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа формирования. Ожидаемый экономический эффект в ценах на 1.10.2009 от замены зарубежной комбинированной высокоэластичной пряжи линейной плотности 50 текс на разработанную комбинированную высокоэластичную пряжу пневмомеханического способа прядения такой же линейной плотности составит 13 866 264,00 рублей при годовом производстве 3000 кг пряжи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработана технология комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа формирования на прядильных машинах ППМ-120 и ВД-200, позволяющая получать комбинированную высокоэластичную пряжу с использованием эластомерных нитей линейной плотности 3 - 30 текс с коэффициентом растяжения при формировании 150 - 500% и обкручивающим компонентом линейной плотности 18,5 - 80 текс [2, 7, 11, 14, 16].

2. Разработана конструкция пневмомеханической прядильной камеры, отличающаяся от существующей наличием нитепроводящего канала в роторе прядильной камеры. Разработаны различные конструкции устройств принудительной подачи эластомерной нити в рабочую зону прядильной камеры, позволяющие проводить модернизацию как отдельных прядильных блоков, так и всей пневмомеханической прядильной машины, и обеспечивающие подачу эластомерной нити в рабочую область прядильной камеры с заданным коэффициентом предварительного растяжения (150 - 500%) [2, 3, 21, 20].

3. Получены аналитические зависимости физико-механических свойств комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического

УА "Віцебская прядильна фабрыка і ткацкага прадпрыемства"  
Інв. №

способа прядения от предварительного растяжения эластомерной нити при формировании и от заправочной крутки комбинированной пряжи, что позволяет прогнозировать физико-механические свойства комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения и установить границы изменения коэффициента предварительного растяжения 200-400%, крутки комбинированной пряжи 500 - 1000 кр/м [5, 9, 16].

4. В результате теоретического исследования процесса формирования комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения разработана компьютерная имитационная модель, позволяющая определить рациональные параметры процессов дискретизации, транспортировки, сложения волокнистого продукта при формировании обкручивающего компонента комбинированной высокоэластичной пряжи [1, 2, 3, 4, 15].

5. Разработан метод прогнозирования разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения, позволяющий получать комбинированную высокоэластичную пряжу с заданной относительной разрывной нагрузкой с погрешностью в пределах 5% [5, 10].

6. Определены оптимальные значения параметров технологического процесса получения комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения, состоящей из хлопчатобумажного обкручивающего компонента линейной плотности 45 текс и эластомерной нити Дорластан 15 текс: заправочная крутка комбинированной пряжи – 740 кр/м; предварительное растяжение эластомерной нити – 315 % [8, 12].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. По результатам исследования разработан пакет конструкторской документации для модернизации прядильной машины BD-200 для выпуска комбинированной высокоэластичной пряжи, технология производства комбинированной высокоэластичной пряжи внедрена на РУП «БПХО» [21, 20].

2. Разработан новый ассортимент комбинированной высокоэластичной пряжи средней линейной плотности с использованием эластомерной нити Дорластан и хлопчатобумажного обкручивающего компонента. Полученная пряжа отвечает требованиям, предъявляемым для переработки в тканые изделия.

3. Компьютерные имитационные модели, разработанные по результатам теоретических исследований, внедрены в учебный процесс УО «ВГТУ» в курс «Новое в технике и технологии прядильного производства».

4. Ожидаемый экономический эффект от замены зарубежной комбинированной высокоэластичной пряжи линейной плотности 50 текс на разработанную комбинированную высокоэластичную пряжу пневмомеханического способа прядения такой же линейной плотности в ценах на 1.10.2009, составит 13 866 264,00 руб. при годовом производстве 3000 кг пряжи.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи:

1. Дягилев, А. С. Модель комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». – 2006. – № 11 – С. 139 – 151.

2. Дягилев, А. С. Технологический процесс получения высокоэластичной комбинированной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». – 2007. – № 13 – С. 27 – 30.

3. Дягилев, А. С. Структура высокоэластичной комбинированной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Текстильная промышленность: спецвыпуск «Научный альманах». – 2007. – № 8 – С. 12 – 14.

4. Дягилев, А. С. Геометрия высокоэластичной комбинированной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». – 2007. – № 13 – С. 30 – 35.

5. Дягилев, А. С. Проектирование характеристик комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Сборник научных трудов по текстильному материаловедению, посвященный 100-летию со дня рождения Георгия Николаевича Кукина / МГТУ им. Косыгина, – Москва, 2007. – С. 216 – 224.

6. Дягилев, А. С. Высокоэластичная комбинированная пряжа пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». – 2008. – № 15 – С. 7 – 11.

7. Дягилев, А. С. Комбинированная высокоэластичная пряжа с использованием полиуретановой высокоэластичной нити. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Химические волокна. – 2008. – № 5 – С. 45 – 47.

8. Дягилев, А. С. Оптимизация технологического процесса производства комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханическим способом прядения. / А. С. Дягилев // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». – 2009. – № 16 – С. 24 – 28.

9. Дягилев, А. С. Технология комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009. – № 4 – С. 36 – 38.

10. Дягилев, А. С. Прогнозирование разрывной нагрузки комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Вестник Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». – 2010. – № 17 – С. 19 – 23

### **Материалы конференций:**

11. Дягилев, А. С. Комбинированная высокоэластичная пряжа пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Материалы третьей Белорусской научно-практической конференции «Научно-технические проблемы развития производства химических волокон в Беларуси» / УО «МГУП». – Могилев, ОАО «Могилевхимволокно». – Могилев, 2007. – С. 252 – 255.

12. Дягилев, А. С. Использование метода центра масс при оптимизации технологического процесса прядения комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Материалы докладов XLII научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, УО «ВГТУ», 2009. – С. 184.

13. Дягилев, А. С. Комбинированная высокоэластичная пряжа / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы международной научной конференции. / Витебск, ноябрь 2009 г. В 2 ч. Ч. 1 // УО «ВГТУ». – Витебск : УО «ВГТУ», 2009. С. 93 – 96.

### **Тезисы докладов:**

14. Киселев Р. В. Технологический процесс получения высокоэластичной комбинированной пряжи пневмомеханического способа формирования. / Р. В. Киселев, А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Тезисы 38 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, УО «ВГТУ», 2005. – С. 60.

15. Дягилев, А. С. О модели высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, В. П. Терентьев // Тезисы 39 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, УО «ВГТУ», 2006. – С. 129.

16. Дягилев, А. С. Технологический процесс получения высокоэластичной комбинированной пряжи пневмомеханического способа формирования. / А. С. Дягилев // Тезисы 39 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, УО «ВГТУ», 2006. – С. 100-101.

17. Дягилев, А.С. Свойства комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения / А.С. Дягилев, А.Г. Коган //



международная научно-техническая конференция «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль – 2007) / МГТУ им. А.Н. Косыгина; редкол.: К.И. Кобраков [и др.]. – Москва, 2007. – С. 7.

18. Дягилев, А. С. Исследование релаксационных свойств комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган, А. А. Максимова // Тезисы XI научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, УО «ВГТУ», 2007. – С. 73.

19. Дягилев, А. С. Определение зависимости физико-механических показателей комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения от параметров технологического процесса. / А. С. Дягилев, А. Г. Коган, А. А. Баранова // Тезисы XII научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, УО «ВГТУ», 2008. – С. 68.

### **Патенты:**

20. Пневмомеханическая прядильная машина : пат. № 3861 Респ. Беларусь, МПК7 D 01G 11/00 / А. С. Дягилев, А. Г. Коган ; заявитель УО «Витебский государственный технологический университет». – № u20060633; заявл. 04.10.2006; опубл. 30.10.2007 // Официальный бюллетень / Национальный центр интеллектуальной собственности / 2007. – № 5. – С. 193-194.

21. Комбинированная высокоэластичная нить : пат. № 3560 Респ. Беларусь, МПК D 02G 3/00 / А. С. Дягилев, А. Г. Коган ; заявитель УО «Витебский государственный технологический университет». – № u20060716; заявл. 02.11.2006; опубл. 30.06.2007 // Официальный бюллетень / Национальный центр интеллектуальной собственности / 2007. – № 3. – С. 199.

## РЭЗЮМЭ

Дзягілеў Андрэй Сцяпанавіч

### Тэхналогія высокарасцяжнай пражы пнеўмамеханічнага спосабу прадзення

*Ключавыя словы:* высокарасцяжныя ніткі, камбінаваная пражы, пнеўмамеханічны спосаб прадзення, эластэмерныя поліурэтанавыя ніткі.

*Аб'ект даследавання:* камбінаваная высокарасцяжная пражы пнеўмамеханічнага спосабу прадзення.

*Мэта дысертацыйнай працы:* распрацоўка тэхналогіі камбінаванай высокарасцяжнай пражы пнеўмамеханічнага спосабу фарміравання сярэдняй лінейнай шчыльнасці для асартыменту тэкстыльных вырабаў бытавога прызначэння.

*Метады даследавання:* распрацоўка спосабу фарміравання камбінаванай высокарасцяжнай пражы была заснавана на выніках тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў з выкарыстаннем метадаў матэматычнага планавання, аптымізацыі аб'ектаў і працэсаў, матэматычнага мадэліравання і праграміравання.

*Атрыманыя вынікі:* распрацавана і запатэнтавана структура камбінаванай высокарасцяжнай пражы. Распрацаваны і запатэнтаваны тэхналагічны працэс фарміравання камбінаванай высокарасцяжнай пражы пнеўмамеханічнага спосабу прадзення. Спосаб прадугледжвае выкарыстанне эластэмерных поліурэтанавых нітак і абкручваючага валакністага кампанента пнеўмамеханічнага спосабу фарміравання. Даследаваны фізіка-механічныя ўласцівасці камбінаванай высокарасцяжнай пражы пнеўмамеханічнага спосабу прадзення. Распрацавана імітацыйная мадэль працэсу фарміравання валакністага кампанента камбінаванай пражы пнеўмамеханічнага спосабу. Атрымана матэматычная мадэль камбінаванай высокарасцяжнай пражы.

*Рэкамендацыі па выкарыстанні:* тэхналогія камбінаванай высокарасцяжнай пражы прайшла прамысловую апрацацыю на РУЦ «БВБА» (г. Баранавічы). Вынікі працы могуць выкарыстоўвацца пры праектаванні ўласцівасцяў камбінаваных нітак, аптымізацыі іх ўласцівасцяў пры выпрацоўцы вырабаў лёгкай і тэкстыльнай прамысловасці.

*Сфера выкарыстання:* тэхналогія пражы.

## РЕЗЮМЕ

Дягилев Андрей Степанович

### Технология высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения

*Ключевые слова:* высокоэластичные нити, комбинированная пряжа, пневмомеханический способ прядения, эластомерные полиуретановые нити.

*Объект исследования:* комбинированная высокоэластичная пряжа пневмомеханического способа прядения.

*Цель диссертационной работы:* разработка технологии комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа формирования средней линейной плотности для ассортимента текстильных изделий бытового назначения.

*Методы исследования:* разработка способа формирования комбинированной высокоэластичной пряжи основывалась на результатах теоретических и экспериментальных исследований с использованием методов математического планирования, оптимизации объектов и процессов, математического моделирования и программирования.

*Полученные результаты:* разработана и запатентована структура комбинированной высокоэластичной пряжи. Разработан и запатентован технологический процесс формирования комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. Технологический процесс предусматривает использование эластомерных полиуретановых нитей и обкручивающего волокнистого компонента пневмомеханического способа формирования. Исследованы физико-механические свойства комбинированной высокоэластичной пряжи пневмомеханического способа прядения. Разработана имитационная модель процесса формирования волокнистого компонента комбинированной пряжи пневмомеханического способа. Получена математическая модель комбинированной высокоэластичной пряжи.

*Рекомендации по использованию:* технология комбинированной высокоэластичной пряжи внедрена на РУП «БПХО» (г. Барановичи). Результаты работы могут использоваться при проектировании свойств комбинированных нитей, оптимизации их свойств при изготовлении изделий легкой и текстильной промышленности.

*Область применения:* технология пряжи.

## SUMMARY

Diaghilev Andrew Stepanovich

### Technology high-stretchable yarn of open-end spinning method

*Keywords:* high-stretchable yarn, combined high-stretchable yarn, open-end spinning, elastane yarn.

*Object of research:* combined high-stretchable open-end spinning yarn.

*The aim of the thesis :* working out of the technology for the combined high-stretchable yarn using open-end spinning of the average linear density for the assortment of textile products for everyday purposes.

*Research methods:* development of the method of forming a combined high-stretchable yarn was based on the results of theoretical and experimental research using methods of mathematical planning, optimization of facilities and processes, mathematical modeling and programming.

*Results:* The structure of the combined high-stretchable yarn was developed and patented. The technological process of forming a combined high-stretchable yarn open-end method of spinning was developed and patented. The method involves using of elastane polyurethane yarn and fibrous component produced by the open-end spinning method. The physical and mechanical properties of the combined high-stretchable yarn open-end method of spinning were investigated. A simulation model of the formation of fibrous component of the combined yarn was developed. A mathematical model of combined high-stretchable yarn was made.

*Recommendations on application:* The technology of combined high-stretchable yarn was tested at the industrial RUE «BPCA» (Baranovichi). The results can be used in designing the properties of combined yarns, optimization of their properties in the manufacturing of light and textile industry products.

*Field of application:* the technology of yarn.

