

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 677.021.166

**НАУМЕНКО АНДРЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ СМЕШАННОЙ ЛЬНОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРЯЖИ  
ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ**

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, 2014

Работа выполнена в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет»

Научный руководитель:

**Рыклин Дмитрий Борисович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Прядения натуральных и химических волокон» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

**Садовский Виктор Васильевич**, доктор технических наук, профессор, первый проректор учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет»

**Ясинская Наталья Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация:

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

Защита состоится «09» декабря 2014 г. в 10:00 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.

E-mail: vstu@vitebsk.by

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

Автореферат разослан «06» ноября 2014 г.

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

Г.В. Казарновская

## ВВЕДЕНИЕ

Лен для Республики Беларусь является одним из основных источников натурального текстильного сырья. Серьезной проблемой отечественной сырьевой базы льнопрядения является высокая доля короткого волокна в общем объеме вырабатываемого льна. Применяемые на отечественных предприятиях технологии позволяют производить из короткого льноволокна такие традиционные виды продукции как технические и тарные ткани, нетканые материалы, а также пряжу для коврового и трикотажного производства. В последние годы не наблюдается повышение спроса на подобную продукцию, что приводит к необходимости разработки нового ассортимента льносодержащих материалов, изготовление которых позволит расширить область применения короткого льняного волокна.

Перспективным направлением повышения конкурентоспособности отечественной текстильной продукции на основе короткого льняного волокна является разработка технологических процессов производства льносодержащей пряжи пневмомеханическим способом прядения. Это позволит не только использовать короткое льняное волокно в качестве сырья для выработки одежных тканей, но и частично заменить импортируемые хлопковые и химические волокна. Для переработки короткого льняного волокна на хлопкопрядильном оборудовании его подвергают дополнительной обработке, называемой котонизацией, позволяющей уменьшить длину и линейную плотность волокна. Однако данный процесс лишь частично устраняет различия в свойствах хлопкового и льняного волокна, что приводит к их неравномерному распределению в полуфабрикатах и пряже и, как следствие, к снижению показателей качества выпускаемой продукции. Таким образом, одной из важнейших проблем, которую необходимо решить при разработке технологии льносодержащей пряжи, является повышение эффективности смешивания разнородных волокон.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Тема диссертации соответствует приоритетному направлению научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2011 – 2015 годы (Указ Президента Республики Беларусь 22.07.2010 № 378) «Производство и отделка текстильных, трикотажных и швейных изделий». Диссертационная работа выполнялась в непосредственной связи со следующими проектами:

- инновационным проектом концерна «Беллепром» на тему «Разработка новой технологии получения пряжи с использованием короткого льняного

волокна» (№ ГР 20092399 от 10.08.2009, срок выполнения 1.04.2009 – 31.12.2010);

- грантом Министерства образования Республики Беларусь «Разработка электроемкостного метода определения эффективности смешивания волокон в пряже и полуфабрикатах прядильного производства» (№ ГР 20121175 от 02.01.2012, срок выполнения 02.01.2012 – 31.12.2012);
- заданием «Разработка диэлектрического метода контроля состава и структуры полимерных материалов» подпрограммы «Техническая диагностика» Государственной программы научных исследований «Механика, техническая диагностика, металлургия» (№ ГР 20113535 от 22.09.2011, сроки выполнения 3.01.2011 – 31.12.2013);
- проектом «Разработка ресурсосберегающих технологий комплексной переработки лубяных культур и производства комбинированных нитей с целью получения новых материалов и текстильных изделий», выполненным в рамках программы двустороннего сотрудничества между Беларусью и Украиной в области науки и технологий (№ ГР 20110503 от 29.11.2011, сроки выполнения 6.07.2011 – 30.06.2013);
- инновационным проектом концерна «Беллегпром» на тему «Разработка технологии выработки смесовой льнохлопковой пряжи с использованием котонизированных волокон» (№ ГР 20130506 от 26.04.2013, сроки выполнения 03.01.2012 – 31.12.2013);
- заданием «Разработка диэлектрического метода контроля и диагностики качества материалов, используемых в электротехнической и легкой промышленности» подпрограммы «Техническая диагностика» Государственной программы научных исследований «Механика, техническая диагностика, металлургия» (№ ГР 20140987 от 23.05.2014, сроки выполнения 03.01.2014 – 31.12. 2014).

**Цели и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является расширение ассортимента льносодержащей пряжи и повышение эффективности технологических процессов переработки короткого льняного волокна.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- разработать технологический процесс производства льносодержащей пряжи пневмомеханическим способом формирования с учетом особенностей сырьевой базы Республики Беларусь и оборудования, установленного на отечественных прядильных предприятиях;
- разработать технические средства и методику их использования для определения неоднородности по составу льносодержащей пряжи и полуфабрикатов прядильного производства, которые позволят в производственных условиях оперативно осуществлять инструментальную оценку эффектив-

ности смешивания и управлять технологическим процессом с учетом получаемой информации;

- разработать математические модели, описывающие влияние процентного содержания и геометрических характеристик волокон компонентов смеси на неравномерность их распределения в продуктах прядения;
- провести промышленную апробацию разработанной методики для оценки влияния параметров работы технологического оборудования на неравномерность распределения разнородных компонентов в льносодержащих полуфабрикатах и пряже;
- установить влияние технологических параметров работы оборудования на показатели полуфабрикатов и пряжи, характеризующие эффективность процессов переработки льносодержащих смесей;
- разработать рекомендации по повышению эффективности работы оборудования в рамках освоения технологических процессов производства льносодержащей пряжи на отечественных прядильных предприятиях.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

- впервые разработаны математические зависимости, описывающие влияние состава продуктов прядения и геометрических характеристик разнородных волокон на минимально возможную неравномерность их распределения на отрезках разной длины идеальных двух- и трехкомпонентных полуфабрикатов прядильного производства и пряжи;
- разработана конструкция многосекционного экранированного ленточного измерительного конденсатора для определения анизотропии материалов по диэлектрической проницаемости, отличающаяся дополнительной системой параллельных ленточных электродов, имеющих отличную длину от первых двух систем и параллельных электродам одной из них, позволяющая повысить точность измерения диэлектрической проницаемости за счет устранения влияния краевого эффекта на торцах электродов;
- предложена методика определения неровноты смешивания волокон в пряже и полуфабрикатах прядильного производства, позволившая минимизировать влияние влажности образцов на результаты измерения;
- получены экспериментальные зависимости, описывающие влияние параметров технологического процесса производства льносодержащей пряжи пневмомеханического способа формирования, отличающейся повышенным процентным вложением котонизированного льняного волокна, на показатели качества продуктов прядения, в том числе на неровноту смешивания разнородных компонентов, определенную с использованием разработанного измерительного конденсатора.

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

Технологический процесс производства льносодержащей пряжи линейной плотности 40 – 90 текс пневмомеханическим способом формирования с процентным вложением 40 – 75 % котонизированного льняного волокна для производства тканей бытового назначения.

Конструкция многосекционного экранированного ленточного измерительного конденсатора для измерения анизотропии материалов по диэлектрической проницаемости, применение которого дает возможность с достаточной точностью определять процентное содержание компонентов в составе волокнистых материалов и осуществлять на основании полученных данных расчет неровноты их смешивания.

Математические зависимости, описывающие влияние процентного содержания, длины и линейной плотности разнородных волокон на минимально возможную неравномерность их распределения на отрезках разной длины двух- и трехкомпонентных полуфабрикатов прядильного производства и пряжи, которые позволяют осуществлять оценку эффективности технологических процессов переработки волокнистых смесей.

Рациональные параметры технологического процесса производства льносодержащей пряжи, установленные на основе анализа результатов проведенных исследований, характеризующих влияние режимов работы хлопкопрядильного оборудования на показатели качества полуфабрикатов прядильного производства и пряжи с вложением котонизированного льняного волокна, в том числе на неровноту смешивания разнородных компонентов.

### **Личный вклад соискателя.** Соискателем лично:

- обоснован выбор исходного сырья с требуемыми физико-механическими показателями для производства льносодержащей пряжи пневмомеханическим способом прядения;
- определено максимально допустимое процентное содержание котонизированного льняного волокна в пряже линейной плотности 40 – 90 текс пневмомеханического способа формирования, обеспечивающее достижение ее требуемых показателей качества;
- получены математические зависимости диэлектрической проницаемости текстильных волокон от частоты электрического поля и влажности волокна;
- установлена взаимосвязь между коэффициентом вариации показателя анизотропии по диэлектрической проницаемости и квадратической неровнотой смешивания компонентов волокнистых продуктов;
- разработана математическая модель идеального многокомпонентного волокнистого продукта, позволяющая определить минимально возможную неровноту смешивания компонентов на участках различной длины с учетом их процентного содержания и геометрических характеристик волокон;

- получены математические зависимости, описывающие влияние технологических параметров работы оборудования на показатели, характеризующие эффективность процессов переработки льнохлопковых смесей в прядильном производстве;
- разработаны и апробированы рекомендации по повышению эффективности технологических процессов переработки льносодержащих волокнистых смесей в производственных условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» и ОАО «Ветковская прядильная фабрика».

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты исследований, включенные в диссертацию, доложены на 43 – 46 Научно-технических конференциях преподавателей и студентов университета (Витебск, 2010 – 2013); Международных научно-технических конференциях «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» (Витебск, 2011, 2013); 12 Всероссийской научно-инновационной конференции аспирантов, студентов и молодых ученых с элементами научной школы «Теоретические знания - в практические дела» (Омск, 2011); Международной научно-технической конференции "Современные технологии и оборудование текстильной промышленности" (ТЕКСТИЛЬ – 2011) (Москва); Республиканской научной конференции студентов и аспирантов Республики Беларусь «НИРС – 2011» (Минск); Межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» (ПОИСК – 2011, 2012) (Иваново); Международной научно-практической конференции высших и средних специальных учебных заведений «С наукой в будущее» (Барановичи, 2012); Первом форуме Союзного государства вузов инженерно-технологического профиля (Минск, 2012); Международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (ПРОГРЕСС – 2012, 2013) (Иваново); Международной научной конференции «eRA – 9» (Афины, 2014).

Диэлектрический метод определения неровноты смешивания волокон в продуктах прядения внедрен в производственных условиях ОАО «Гронитекс» (г. Гродно), в учебный процесс кафедры «Прядение натуральных и химических волокон» УО «ВГТУ». Рекомендации по совершенствованию технологических процессов производства льнохлопковой пряжи внедрены в производственных условиях ОАО «Ветковская прядильная фабрика». На основании проведенных исследований разработан технологический регламент производства пряжи с вложением короткого льняного волокна пневмомеханическим способом прядения в условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат».

**Опубликованность результатов диссертации.** По материалам диссертации опубликовано 24 печатные работы общим объемом 6,4 авторских листа, в том числе 7 статей объемом 4,8 авторских листа – в научных изданиях, включенных в перечень изданий, утвержденных ВАК РФ, получен 1 патент на изобретение и 1 положительное решение о выдаче патента на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Работа содержит введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и приложения. Общий объем диссертации составляет 228 страниц, включающих 102 рисунка, 59 таблиц, 8 приложений, представленных на 84 страницах. В работе использовались 205 библиографических источников, ссылки на которые представлены на 21 странице.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Первая глава посвящена** анализу литературы по вопросу производства многокомпонентной льносодержащей пряжи. Изучены способы производства льносодержащей пряжи [21] и методы кottonизации короткого льняного волокна. Установлено, что короткое льноволокно в республике используется для производства традиционных текстильных материалов, спрос на которые ограничен. Разработка новых технологических процессов производства льносодержащей пряжи по кардной системе прядения хлопка является актуальным направлением повышения эффективности использования короткого льняного волокна. Использование льна в смеси с хлопком позволяет получить текстильные материалы с высокими гигиеническими, антибактериальными, теплофизическими и механическими свойствами [5]. Установлено, что льняное и хлопковое волокно значительно отличаются по физико-механическим и геометрическим характеристикам, что препятствует их совместной переработке на хлопкопрядильном оборудовании. Для устранения указанной проблемы лен подвергают кottonизации с целью получения кottonина – льняного волокна, свойства которого максимально приближены к свойствам хлопка. Анализ существующих способов кottonизации показал, что наиболее целесообразно применять механический способ, так как он характеризуется более высокой производительностью и экономической эффективностью [16].

**Вторая глава** посвящена разработке технологического процесса производства льнохлопковой пряжи пневмомеханическим способом формирования.

При анализе свойств короткого льняного волокна установлено, что его средняя длина составляет 220 – 270 мм, то есть приблизительно в 4 раза превышает максимально допустимое значение, установленное для сырья, перерабатываемого на хлопкопрядильном оборудовании.

В результате переработки короткого льняного волокна на линии котонизации фирм «Темафа» (Германия) и «Rieter» (Швейцария) в условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» средняя линейная плотность волокна и его средняя длина снизилась в 5 – 6 раз. Достигнутые значения показателей качества котонина, представленные в таблице 1, соответствуют требованиям, которые установлены ТУ-8112-001-00302238-96.

Таблица 1. – Показатели котонизированного льняного волокна

Свойства котонина	Производитель льняного волокна		
	Горецкий льнозавод	Дубровенский льнозавод	Пружанский льнозавод
Линейная плотность, текс	1,52	1,53	1,47
Средняя длина, мм	44,88	37,52	36,43
Штапельная длина, мм	50,80	42,98	41,09
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	19,85	19,11	17,55
Относительное разрывное удлинение, %	17,93	17,70	23,82

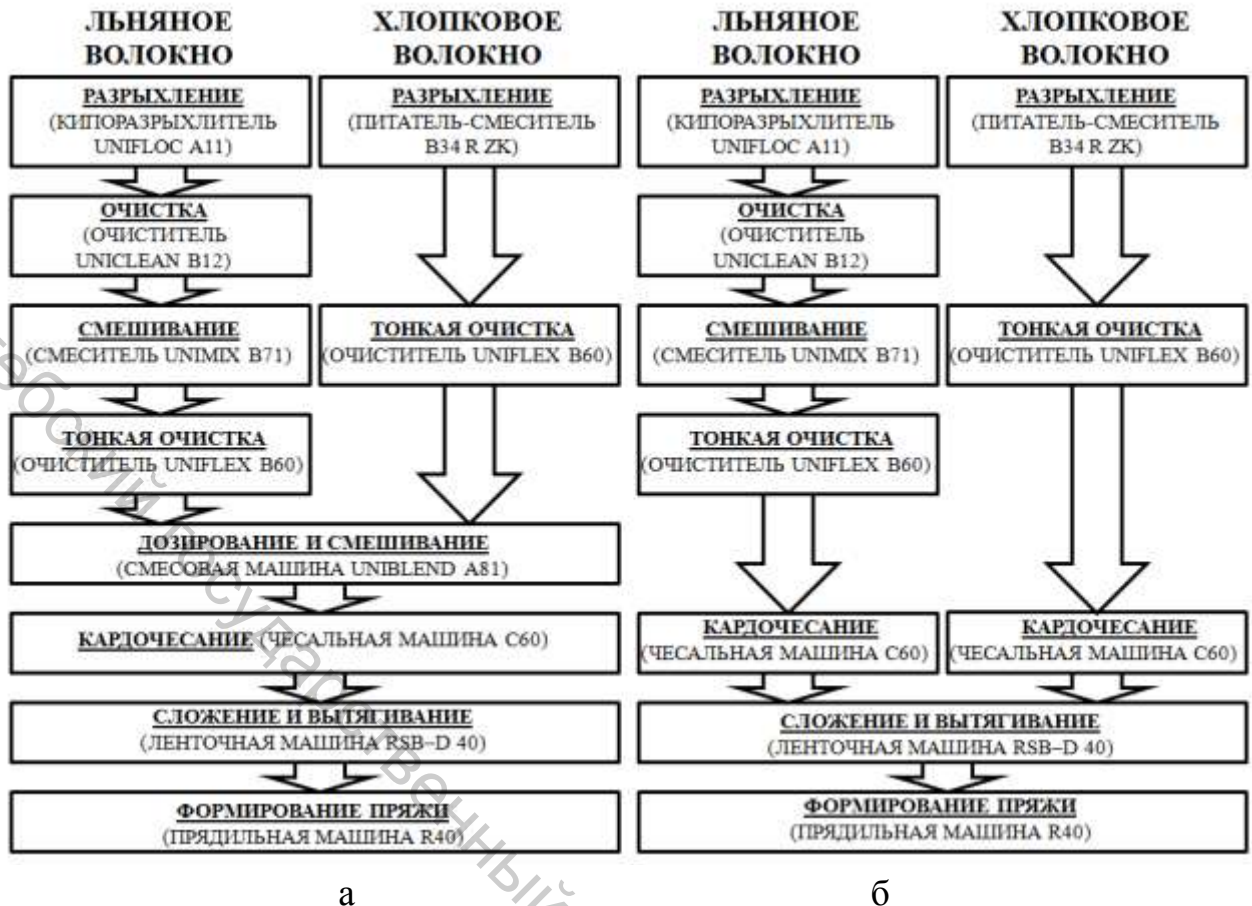
Для смешивания с котонизированным льняным волокном выбран хлопок 5 типа I сорта класса засоренности «средний». Достоинством волокна данного типа является высокий коэффициент зрелости, что позволяет обеспечить достаточно высокую прочность пряжи при относительно низкой себестоимости [5,9].

Для выбора наиболее целесообразного способа смешивания разнородных компонентов применительно к оборудованию, установленному на РУПТП «Оршанский льнокомбинат», исследованы два варианта технологического процесса производства льнохлопковой пряжи линейной плотности 50 текс с вложением 50 % льняного и 50 % хлопкового волокна (рисунок 1) [5].

Свойства наработанных вариантов пряжи представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Свойства вариантов льнохлопковой пряжи, выработанной с применением исследованных вариантов технологических процессов

Показатель		Вариант а	Вариант б
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс		6,95	5,31
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %		14,20	19,10
Относительное разрывное удлинение, %		4,58	4,54
Неровнота, по линейной плотности, %	на отрезках длиной 1 см	21,59	25,08
	на отрезках длиной 1 м	5,01	7,41
Количество утонений (– 50 %) на 1 км		247	506
Количество утолщений (+50 %) на 1 км		1586	2285
Количество непсов (+280 %) на 1 км		1358	2629
Ворсистость		6,89	7,46



а – смешивание компонентов на машине UNIBlend A 81 (вариант а);

б – смешивание компонентов на машине RSB-D 40 (вариант б)

**Рисунок 1. – Технологический процесс производства льнохлопковой пряжи**

Пряжа, полученная при смешивании компонентов на ленточной машине (вариант б), уступает по большинству показателей пряже, произведенной с использованием смешивающей машины (вариант а). За счет более точного дозирования компонентов и их эффективного перемешивания на чесальной машине достигается существенное снижение неровноты пряжи по линейной плотности и другим свойствам, а также повышение ее разрывной нагрузки. Следовательно, для производства льнохлопковой пряжи можно рекомендовать первый вариант технологического процесса, представленный на рисунке 1 а.

В соответствии с выбранным вариантом технологии хлопок и лен до осуществления процесса смешивания перерабатываются на различном оборудовании. Клочки котонизированного льняного волокна отбираются из кип с помощью кипоразрыхлителя UNIFloc A11 и транспортируются по пневмопроводу к предварительному очистителю UNIClean B12, на котором происходит их разрыхление в свободном состоянии. Затем клочки поступают на смесовую машину UNIMix B71, где происходит эффективное перемешивание котонизированного волокна разных партий, что способствует выравниванию смеси по всем свойствам. Окончательная очистка волокна происходит на очистителе

UNIflex B60. Хлопок подается в камеру питателя B34 RZK, в которой происходит его первичное разрыхление. Далее клочки обрабатываются в очистителе UNIflex B60, где они обеспыливаются и дополнительно разрыхляются.

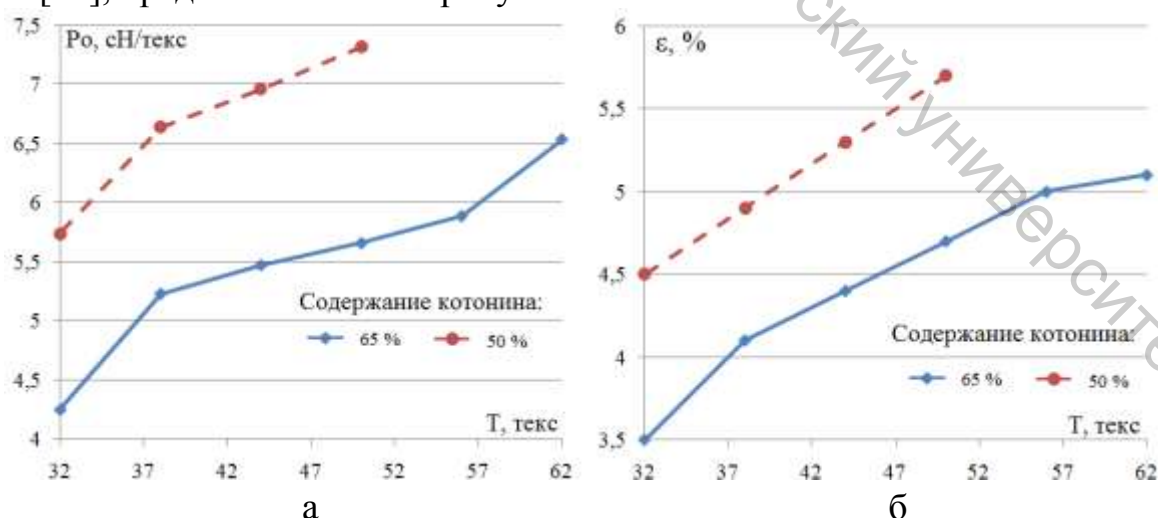
Для смешивания клочков разнородных волокон используется машина UNIblend A81, которая обеспечивает постоянный состав смеси за счет точного дозирования компонентов. На чесальной машине C60 формируется льнохлопковая лента, которая затем выравнивается и утоняется в процессе переработки на ленточной машине RSB-D 40. Формирование пряжи осуществляется на пневмомеханической прядильной машине R 40.

С целью определения зависимости качественных характеристик смесовой пряжи от процентного содержания льняного волокна проведена наработка и исследование опытных партий льнохлопковой пряжи [9,15]:

- 1) пряжа линейной плотности 32 – 62 текс с содержанием котонина 65 %;
- 2) пряжа линейной плотности 32 – 50 текс с содержанием котонина 50 %.

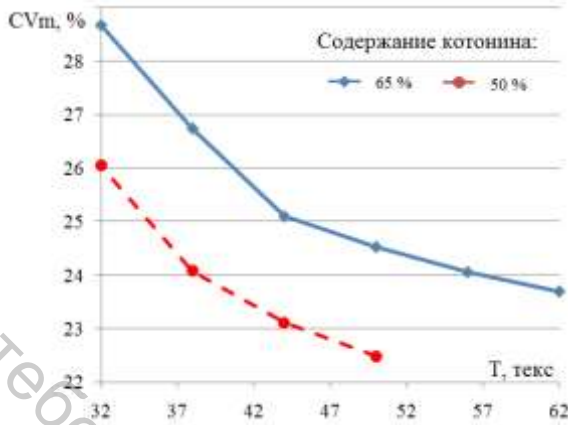
Установлено, что увеличение процентного содержания неравномерного по свойствам льняного волокна  $\beta$  ведет к снижению относительной разрывной нагрузки  $P_0$  (рисунок 2 а) и разрывного удлинения пряжи  $\varepsilon$  (рисунок 2 б), что в значительной степени вызвано повышением ее квадратической неровноты по линейной плотности  $CV_m$  (рисунок 3).

В результате предварительной апробации установлено, что для стабильной переработки в ткачестве льнохлопковая пряжа должна иметь относительную разрывную нагрузку не менее 6 сН/текс и относительное разрывное удлинение – не менее 5 %. Указанное требование выполняется при условии, что в сечении пряжи содержатся в среднем не менее 100 хлопковых волокон, что соответствует разработанным рекомендациям по выбору состава льносодержащей пряжи [21], представленным на рисунке 4.

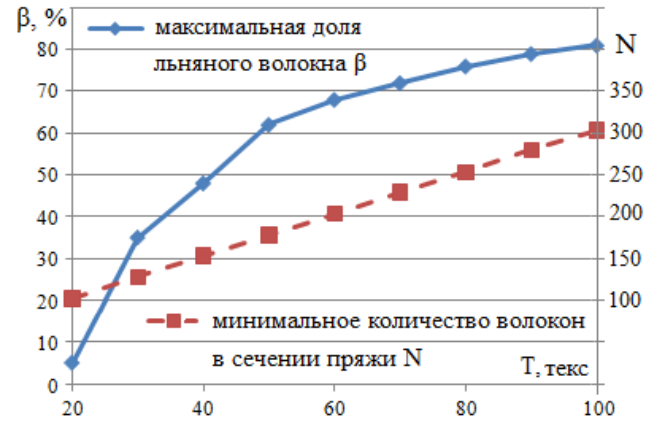


а – относительная разрывная нагрузка; б – относительное разрывное удлинение

**Рисунок 2. – Влияние линейной плотности льнохлопковой пряжи на ее физико-механические свойства**



**Рисунок 3. – Влияние линейной плотности льнохлопковой пряжи на ее неровноту на коротких отрезках**



**Рисунок 4. – Рекомендации по выбору состава льносодержащей пряжи**

Необходимо отметить, что требуемые характеристики пряжи могут быть достигнуты только при равномерном распределении разнородных волокон, так как льняное и хлопковое волокно значительно отличаются по геометрическим и механическим свойствам. Следовательно, важным аспектом совершенствования технологических процессов производства льнохлопковой пряжи является разработка методов контроля неоднородности пряжи и полуфабрикатов прядельного производства по составу.

**Третья глава** посвящена разработке метода контроля состава волокнистых материалов на основе электроемкостных преобразователей.

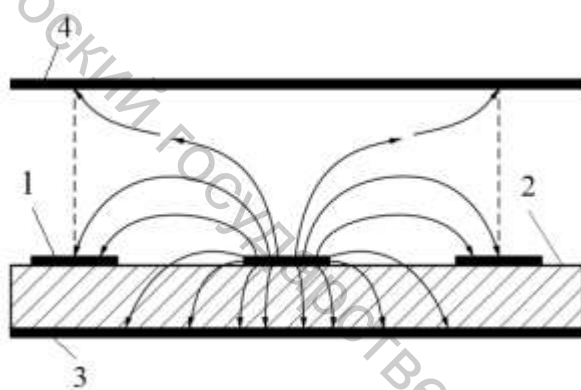
На основе анализа существующих способов оценки состава многокомпонентных волокнистых продуктов выявлены их недостатки, не позволяющие применять их для исследования полуфабрикатов и пряжи из смеси льняных и хлопковых волокон [1]. Для оценки состава льнохлопковых продуктов прядения предложено использовать диэлектрический метод, основанный измерении анизотропии диэлектрических свойств, то есть разности значений диэлектрической проницаемости вдоль волокон ( $\epsilon_{\parallel}$ ) и поперек волокон ( $\epsilon_{\perp}$ ).

Совместно с д.т.н., доцентом кафедры «Теоретическая и прикладная математика» Джежорой А.А. разработана конструкция многосекционного ленточно-экранированного измерительного конденсатора (МЛЭИК), позволяющая определить диэлектрическую проницаемость материалов в продольном и поперечном направлениях [22].

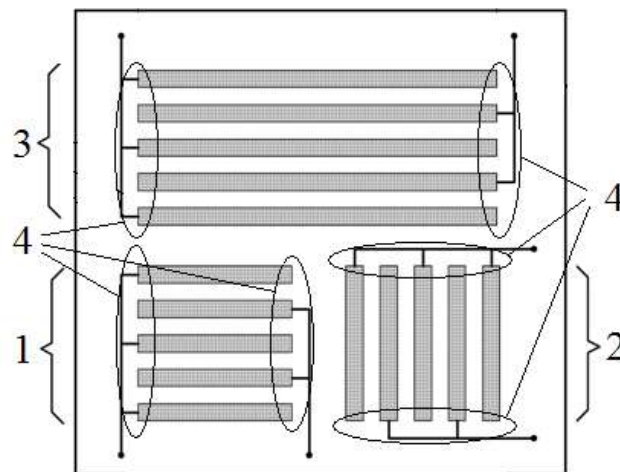
Измерительный конденсатор (рисунок 5) содержит три системы параллельных ленточных электродов 1, лежащих в одной плоскости на поверхности плоской подложки 2, в основании которой расположен экранирующий электрод 3, причем электроды первой системы перпендикулярны электродам второй системы, а также плоский подвижный заземленный электрод 4, полностью закрывающий систему ленточных электродов и параллельный их плоскости [23].

Системы 1, 2 (рисунок 6) параллельных ленточных электродов идентичны, повернуты относительно друг друга на  $90^\circ$ , третья система 3 имеет отличную длину электродов от первых двух систем и параллельных электродам одной из них.

Разработанный конденсатор создает плоскопараллельные поля в зоне контроля материала и позволяет измерить анизотропию диэлектрической проницаемости исследуемых материалов. Определение разности емкостей систем электродов 1, 2, 3 позволяет исключить влияние краевого эффекта 4 на результаты измерения диэлектрической проницаемости [7, 24].



**Рисунок 5. – Распределение электрических полей в зоне контроля МЛЭИК**



**Рисунок 6. – Конструкция МЛЭИК**

Для оценки целесообразности применения разработанной конструкции измерительного конденсатора исследованы диэлектрические характеристики текстильных волокон от их влажности  $W$  в диапазоне от 1 до 8 % и частоты электрического поля  $f$  – от 0,5 до 100 кГц. Получена математическая зависимость, позволяющая прогнозировать диэлектрическую проницаемость текстильных волокон различного происхождения в продольном и поперечном направлениях [2, 4, 8, 11]:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\Pi} + \frac{e^{A \cdot W}}{(B \cdot f)^{0,434}}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{\Pi}$  – постоянная составляющая диэлектрической проницаемости;  $A$  – коэффициент модели, отражающий влияние сорбционных свойств волокон;  $B$  – коэффициент модели, отражающий влияние частоты электрического поля, с.

Для определения показателя, в наибольшей степени отражающего состав льнохлопковых продуктов, проведен эксперимент по исследованию диэлектрических характеристик лент различного состава.

Анализ диэлектрических характеристик исследованных образцов показал, что в качестве критерия для оценки состава смесовых лент может использоваться показатель анизотропии по диэлектрической проницаемости текстильных волокон [10, 13, 17]:

$$K = \frac{\varepsilon_{\parallel}^H - \varepsilon_{\perp}^H}{\varepsilon_{\parallel}^B - \varepsilon_{\perp}^B}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\parallel}^H$ ,  $\varepsilon_{\perp}^H$  – соответственно, эффективная диэлектрическая проницаемость текстильных волокон в продольном и поперечном направлениях на частоте 1 кГц;  $\varepsilon_{\parallel}^B$ ,  $\varepsilon_{\perp}^B$  – соответственно диэлектрическая проницаемость текстильных волокон в продольном направлении на частоте 100 кГц.

Основным критерием для оценки неоднородности продуктов прядения по составу является квадратическая неровнота смешивания, формула для расчета которой предложена проф. Севостьяновым А.Г.:

$$C_{CM} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n C_{\beta i}}, \quad (3)$$

где  $n$  – число компонентов;  $C_{\beta i}$  – коэффициент вариации доли  $i$ -ого компонента.

Для обоснования возможности применения диэлектрического метода определения неровноты смешивания волокон, установлена взаимосвязь между коэффициентом вариации показателя анизотропии по диэлектрической проницаемости и квадратической неровнотой смешивания компонентов [12, 14]:

$$C_{CM} = CV_K \frac{\bar{K}_{CM}}{(\bar{K}_{CM} - K_L)} \sqrt{\frac{1}{2} \left[ 1 + \left( \frac{\bar{\beta}_X}{\bar{\beta}_L} \right)^2 \right]} = CV_K \frac{\bar{K}_{CM}}{(K_X - \bar{K}_{CM})} \sqrt{\frac{1}{2} \left[ 1 + \left( \frac{\bar{\beta}_L}{\bar{\beta}_X} \right)^2 \right]} = \alpha \cdot CV_K, \quad (4)$$

где  $\bar{K}_{CM}$ ,  $K_X$ ,  $K_L$  – показатели анизотропии по диэлектрической проницаемости исследуемой смеси, хлопкового и льняного волокна, соответственно;  $CV_K$  – коэффициент вариации показателя анизотропии по диэлектрической проницаемости, %;  $\bar{\beta}_X$ ,  $\bar{\beta}_L$  – долевое содержание хлопкового и льняного волокна;  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности, зависящий только от среднего долевого содержания волокон компонентов в полуфабрикатах или пряже.

Из формулы (4) следует, что неровнота смешивания волокон пропорциональна коэффициенту вариации показателя анизотропии по диэлектрической проницаемости. На основании данной зависимости разработана методика определения неровноты смешивания диэлектрическим методом, включающая операции по подготовке образцов, проведению измерений и подсчету показателей, характеризующих неоднородность по составу исследованных образцов [1, 2, 8].

Разработанная методика и комплекс технических средств измерения могут быть использованы для оценки неоднородности двухкомпонентных волокнистых продуктов различного состава. Возможность их применения подтверждена тем, что значение неровноты смешивания компонентов в льнополиэфирных

лентах (лен – 60 %, полиэфирное волокно – 40 %), определенное диэлектрическим методом, отличалось не более чем на 1,5 % от результатов химического анализа состава лент. Диэлектрический метод также может быть использован для оценки изменения распрямленности волокон в однокомпонентных волокнистых продуктах по переходам прядильного производства [19, 20].

**Четвертая глава** посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процессов переработки неоднородных смесей волокон.

Для оценки эффективности процессов подготовки волокна к смешиванию проведено исследование изменения степени разрыхления волокнистых клочков на машинах поточной линии «кипа – лента». Установлено, что распределение масс клочков льняного волокна по массе с высокой точностью описывается логнормальным законом, распределение масс клочков хлопкового волокна – экспоненциальным. При этом средняя масса льняного клочка в 4,4 раза превышает массу клочка из хлопковых волокон.

Разработана имитационная модель идеальной двухкомпонентной волокнистой смеси клочков волокон с учетом установленных законов распределения масс клочков. В результате моделирования определено влияние состава льно-содержащей смеси и массы клочков на минимально возможную неровноту смешивания компонентов. Установлено, что при содержании льняного волокна в смеси в пределах 30 – 85 % минимально возможная неровнота смешивания не превышает 10 %.

Для оценки фактической эффективности процесса смешивания разнородных волокон в смесовой машине исследованы образцы льнохлопкового настила двух составов на питании чесальной машины С60 (таблица 3). Результаты исследования свидетельствуют о том, что использование смесовой машины позволяет обеспечить неравномерность распределения компонентов смеси, близкую к минимально возможной, определенной в процессе моделирования.

Таблица 3. – Характеристики льнохлопковых смесей

Показатель		Состав 1		Состав 2	
		лен	хлопок	лен	хлопок
Содержание компонента, %	номинальное	50	50	77	23
	фактическое	49,8	50,2	76,7	23,3
Неровнота смешивания компонентов, %	фактическая	8,6		10,7	
	минимально возможная	7,7		8,8	

Для оценки влияния процентного вложения и свойств волокон компонентов смеси на неровноту смешивания волокон в пряже и полуфабрикатах прядильного производства разработана имитационная модель идеального многокомпонентного продукта [6], алгоритм которой включает следующие этапы:

1. Определение исходных данных, на основании которых определяется среднее количество концов волокон  $i$ -ого компонента в сечении продукта:

$$N_i = \frac{T \Delta L}{T_{Bi} L_{Bi}} \beta_i, \quad (5)$$

где  $T$  – средняя линейная плотность продукта, текс;  $T_{Bi}$  – средняя линейная плотность волокон  $i$ -ого компонента, текс;  $L_{Bi}$  – средняя длина волокон  $i$ -ого компонента, мм;  $\Delta L$  – дискретность определения состава продукта, мм;  $\beta_i$  – долевое содержание  $i$ -ого компонента, задаваемое по рецепту.

2. Моделирование количества передних концов волокон компонентов для каждого сечения продукта в соответствии с заданным законом распределения (для идеального продукта – закон распределения Пуассона).
3. Моделирование линейной плотности  $T_{ij}^k$  и длины  $L_{ij}^k$  для каждого  $j$ -ого волокна в соответствии с принятыми параметрами законов распределения, где  $k$  – номер сечения, в котором находится передний конец волокна.
4. Определение суммарной линейной плотности волокон  $i$ -ого компонента, пересекающих сечение  $m$ , в соответствии с выражением (рисунок 7):

$$T_{ij}^m = T_{ij}^m + T_{ij}^k, \text{ если } L_{ij}^k > (m - k) \cdot \Delta L; \quad (6)$$

$$T_{ij}^m = 0, \text{ если } L_{ij}^k < (m - k) \cdot \Delta L. \quad (7)$$

5. Расчет требуемых характеристик состава и толщины продукта на основании полученных данных.

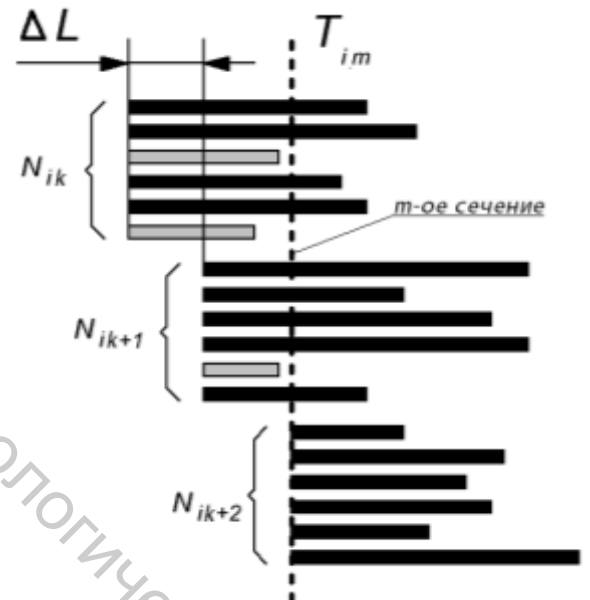


Рисунок 7. – Графическое представление модели волокнистого продукта

Алгоритм моделирования позволяет оценить влияние линейной плотности продуктов, доли вложения разнородных компонентов, параметров законов распределения линейной плотности и длины волокон различных компонентов на показатели неровноты по составу и линейной плотности многокомпонентных продуктов. В качестве критерия для оценки неравномерности распределения разнородных волокон в продуктах прядения использована широко применяемая в текстильной научной литературе характеристика – градиент неровноты смешивания, то есть зависимость квадратической неровноты смешивания компонентов от длины отрезка волокнистого продукта.

Выявлено, что увеличение средней длины волокон смеси  $\bar{l}_B$  и коэффициента вариации по их линейной плотности приводит к росту неровноты смешивания на отрезках, длина которых превышает  $\bar{l}_B$ . Вид градиента неровноты смешивания в идеальных многокомпонентных продуктах соответствует виду градиента неровноты по линейной плотности, который с высокой точностью описывается формулой Брени (рисунок 8):

$$C_{CM}(L) = C_{CM}^0 \sqrt{1 - \frac{L}{3\bar{l}_B}} \quad \text{при } L > \bar{l}_B, \quad (8)$$

$$C_{CM}(L) = C_{CM}^0 \sqrt{\frac{\bar{l}_B}{L} - \frac{\bar{l}_B^2}{3L^2}} \quad \text{при } 0 < L < \bar{l}_B, \quad (9)$$

где  $C_{CM}^0$  – неровнота смешивания на отрезках бесконечно малой длины, %;  
 $\bar{l}_B$  – средняя длина волокон смеси, мм;  
 $L$  – длина отрезка измерения, мм.

В результате моделирования двухкомпонентных и трехкомпонентных продуктов при процентном вложении каждого из компонентов в диапазоне от 10 до 90 % и линейной плотности волокон – от 0,12 до 1 текс разработаны следующие формулы расчета значения  $C_{CM}^0$  [6, 18]:

$$C_{CM}^0 = \frac{100}{\sqrt{2\bar{T}_{PP}}} \sqrt{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{\beta_i} - 1} \sqrt{\sum_{i=1}^2 \bar{T}_{Bi} K_i^2 (1 - \beta_i)}, \quad (10)$$

$$C_{CM}^0 = \frac{100}{\sqrt{3\bar{T}_{PP}}} \sqrt{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{\beta_i} - 1} \sqrt{\sum_{i=1}^3 \bar{T}_{Bi} K_i^2 \left[ (1 - \beta_i) \left( \sum_{i=1}^3 \beta_i^2 - \frac{1}{2} \right) + 4 \frac{\prod_{i=1}^3 \beta_i}{\beta_i} \right]}, \quad (11)$$

где  $K_i^2 = 1 + C_{Ti}^2 / 100^2$  – показатель, характеризующий неровноту по линейной плотности  $i$ -ого компонента;  $C_{Ti}$  – квадратическая неровнота по линейной плотности волокон  $i$ -ого компонента, %;  $\bar{T}_{PP}$  – средняя линейная плотность продукта, текс;  $\bar{T}_{Bi}$  – средняя линейная плотность волокон  $i$ -ого компонента, текс;  $\beta_i$  – долевое содержание волокон  $i$ -ого компонента.

Отклонение результатов моделирования от расчетных данных не превышает 5 %, что подтверждает адекватность формул (8 – 11). Полученные формулы могут быть использованы для оценки эффективности технологи-

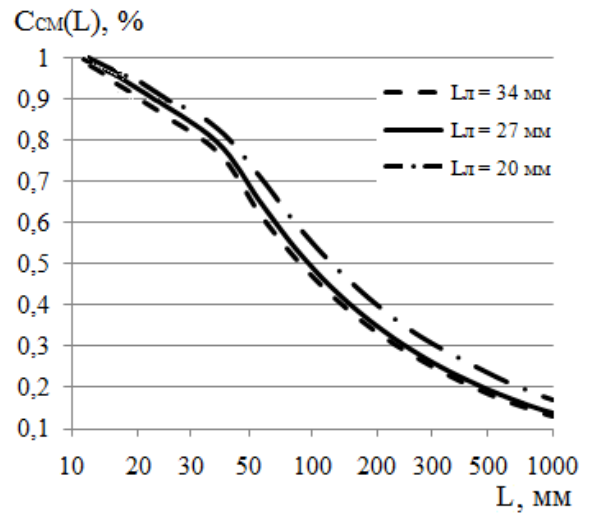
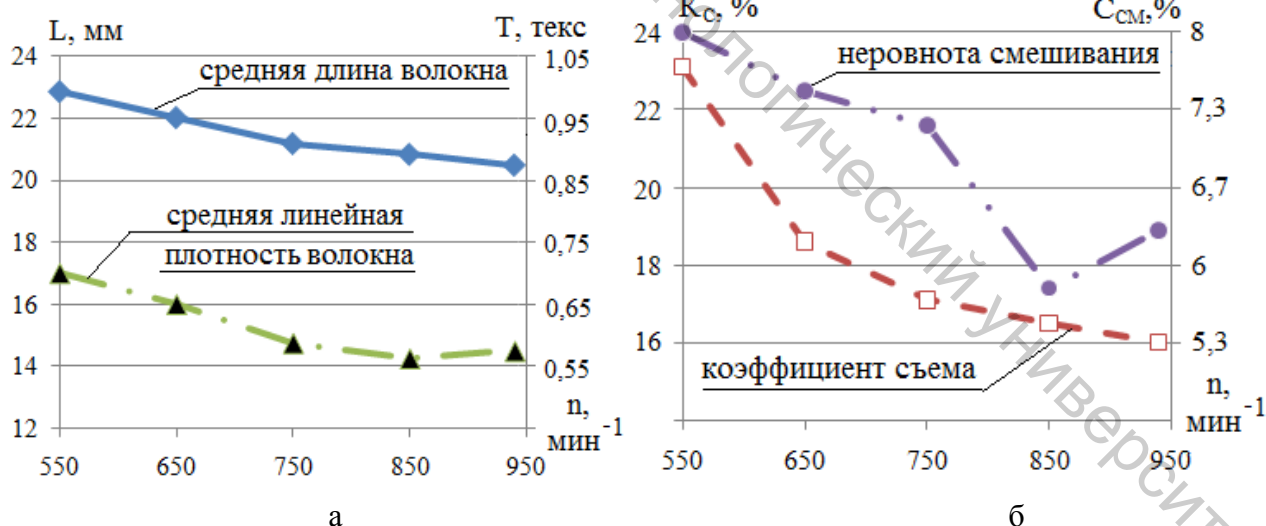


Рисунок 8. – Градиент неровноты смешивания при различной средней длине волокон льна

ских процессов переработки волокнистых смесей на основании сопоставления расчетных значений минимально возможной неровноты смешивания и фактических значений данного показателя для исследуемых продуктов.

**Пятая глава** посвящена разработке рекомендаций по совершенствованию технологических процессов производства льнохлопковой пряжи пневмомеханического способа формирования.

Проведены экспериментальные исследования процесса кардочесания льнохлопковых смесей на чесальной машине С60 (Rieter), при проведении которых осуществлена наработка образцов чесальной ленты (лен – 50 %, хлопок – 50 %) при различной частоте вращения главного барабана в диапазоне от 650 до 940 мин<sup>-1</sup>, изменяемой одновременно со скоростью движения шляпочного полотна от 210 до 360 мм/мин [1]. Указанные параметры оказывают существенное влияние на выравнивающее и смешивающее действие машины, а также на геометрические характеристики волокон компонентов и их процентное содержание в чесальной ленте (рисунок 9 а). Впервые установлен диапазон изменения коэффициента перехода волокон на съемный барабан  $K_C$  (коэффициент съем) при переработке смесей с высоким содержанием льняного волокна на шляпочной чесальной машине (рисунок 9 б) и проведена оценка его влияния на неравномерность распределения волокон в чесальной ленте. Исследование неровноты смешивания проводилось с использованием разработанной методики и комплекса технических средств.



**Рисунок 9. – Зависимость характеристик льнохлопковой ленты от частоты вращения главного барабана**

Установлено, что наилучшие характеристики чесальной ленты достигаются при частоте главного барабана 850 мин<sup>-1</sup> за счет минимальных геометрических характеристик волокон смеси при высоком выравнивающем действии машины, что способствует получению более равномерной пряжи [22].

Выравнивание чесальной ленты по составу и линейной плотности осуществляются при переработке на ленточной машине RSB-D 40 в результате процессов вытягивания и сложения. Для оценки выравнивающего действия ленточной машины при переработке льнохлопковых лент проведен анализ процесса их сложения с использованием модели, описанной в главе 4. Линейная плотность хлопкового волокна принималась равной 0,19 текс, льняного волокна – 0,4 текс в соответствии с результатами штапельного анализа чесальной ленты. Установлено, что теоретически выравнивающий эффект процесса сложения по составу соответствует выравнивающему эффекту по линейной плотности и при числе сложений  $d$  может быть рассчитан по формуле [3]:

$$\mathfrak{E}_{\text{CM}}^{\text{TEOP}} = \mathfrak{E}_{\text{T}}^{\text{TEOP}} = \sqrt{d}. \quad (12)$$

Однако при числе сложений на ленточной машины, равным 5, фактический выравнивающий эффект, определенный с применением разработанного комплекса, составил 1,33, что в 1,68 раз меньше теоретического значения. Снижение выравнивающего эффекта связано с дополнительной неровнотой, возникающей в процессе вытягивания лент в вытяжном приборе [1].

Особенностями переработки льнохлопковых смесей на пневмомеханической прядильной машине являются дальнейшее расщепление льняного волокна в процессе дискретизации и существенное выравнивание пряжи по линейной плотности и составу в результате циклического сложения слоев в желобе прядильной камеры. Для оптимизации процесса формирования льнохлопковой пряжи в качестве входных факторов выбраны частота вращения дискретизирующего барабанчика  $X_1$  (6500 – 8500 мин<sup>-1</sup>) и прядильной камеры  $X_2$  (45000 – 55000 мин<sup>-1</sup>). Получены зависимости качественных показателей пряжи, которые в кодированных значениях переменных имеют вид [15, 16]:

– для неровноты по линейной плотности на коротких отрезках

$$Y_1 = 23,59 + 0,52 \cdot X_1 - 0,35 \cdot X_2, \quad (13)$$

– для относительной разрывной нагрузки

$$Y_2 = 7,12 - 0,11 \cdot X_1 - 0,11 \cdot X_1^2 + 0,17 \cdot X_2^2, \quad (14)$$

– для ворсистости

$$Y_3 = 5,03 + 0,23 \cdot X_1 + 0,13 \cdot X_2 - 0,14 \cdot X_1^2. \quad (15)$$

При анализе зависимостей установлено, что максимальная разрывная нагрузка достигается при частоте вращения прядильной камеры 45000 мин<sup>-1</sup> и частоте вращения дискретизирующего барабанчика 8200 мин<sup>-1</sup>.

На качество пряжи, вырабатываемой на пневмомеханической прядильной машине, значительное влияние оказывает процесс сороудаления, что особенно важно при переработке льносодержащих смесей. Интенсивность данного процесса на машине R40 регулируется степенью разряжения в сороотводящем канале путем изменения площади канала «Bypass». Результаты проведенных экспериментальных исследований опытных образцов пряжи при различной интенсивности сороудаления показаны в таблице 4. Установлено, что минимальная неровнота по свойствам и составу пряжи, а также ее максимальная разрывная нагрузка достигаются при средней интенсивности сороудаления.

Таблица 4. – Показатели качества опытных партий пряжи

Показатель		Интенсивность сороудаления		
		низкая	средняя	высокая
Неровнота, по линейной плотности, %	на отрезках длиной 1 см	21,8	21,6	22,1
	на отрезках длиной 1 м	5,4	5,2	5,1
Неровнота смешивания на отрезках длиной 50 м, %		3,7	3,3	4,2
Количество утонений ( – 50 %) на 1 км		187	194	231
Количество утолщений ( + 50 %) на 1 км		1738	1624	1738
Количество непсов ( + 280 %) на 1 км		1773	1556	1838
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс		7,6	8,0	7,7
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %		8,2	8,1	10,2
Относительное разрывное удлинение, %		5,9	6,1	6,1

В результате проведенных исследований достигнуты высокие качественные показатели пряжи, удовлетворяющие установленным требованиям. Опытная проработка льнохлопковой пряжи проводилась на РУПТП «Оршанском льнокомбинате» в ткань бельевую арт. 09С583 ШР показала возможность ее использования для расширения ассортимента текстильных материалов.

Установленные рациональные значения параметров работы оборудования были использованы при разработке технологического регламента производства льносодержащей пряжи, который утвержден и применяется на РУПТП «Оршанский льнокомбинат».

В результате расчета экономической эффективности производства льносодержащей пряжи на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» при планируемом объеме выпуска 152 000 кг за 2014 г. экономический эффект от выпуска нового вида пряжи линейной плотности 50 текс (лен – 50 %, хлопок – 50 %) составил 582 768 000 белорусских рублей в ценах на 01.05.2014. Экономический эффект на ОАО «Ветковская прядильная фабрика» от выпуска нового вида пряжи линейной плотности 25 текс (хлопок – 80 %, лен – 20 %) при планируемом объеме производства 3000 кг в год составил 15 225 000 белорусских рублей в ценах на 10.10.2013.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации.

1. Определено влияние состава льнохлопковых смесей волокон и последовательности этапов их переработки при производстве смешанной пряжи пневмомеханическим способом формирования на свойства полуфабрикатов и пряжи, отличающихся повышенным содержанием льняного волокна [1, 5, 6].
2. Впервые разработаны математические модели для расчета неровноты смешивания компонентов в идеальных двух- и трехкомпонентных продуктах прядения, использование которых позволяет с точностью 1,5 % осуществлять оценку эффективности технологических процессов переработки смесей, характеризующихся существенными различиями по длине и линейной плотности волокон компонентов [1, 3, 6, 18].
3. Разработана конструкция многосекционного экранированного ленточного измерительного конденсатора для определения анизотропии материалов по диэлектрической проницаемости, отличающаяся применением трех систем параллельных ленточных электродов, две из которых идентичны и расположены перпендикулярно друг другу, а третья – параллельна одной из систем и содержит электроды большей длины, что позволяет повысить точность измерения диэлектрической проницаемости за счет устранения влияния краевого эффекта на торцах электродов и определить процентное содержание разнородных волокон в многокомпонентных материалах с точностью 2,5 % [1, 2, 4, 7, 23, 24].
4. На основе использования разработанного измерительного конденсатора предложена методика определения неравномерности распределения волокнистых компонентов в пряже и полуфабрикатах прядильного производства, позволяющая в производственных условиях оперативно осуществлять инструментальную оценку эффективности смешивания и управлять технологическим процессом с учетом получаемой информации, отличающаяся применением в качестве критерия неравномерности по составу показателя анизотропии по диэлектрической проницаемости [1, 5, 12, 13, 17].
5. Получены экспериментальные зависимости, описывающие влияние параметров работы хлопкопрядильного оборудования на показатели качества полуфабрикатов и пряжи, в том числе на показатели неровноты смешивания компонентов, позволившие установить рациональные режимы переработки льносодержащих смесей волокон (частота вращения главного барабана чесальной машины –  $850 \text{ мин}^{-1}$ , скорость шляпочного полотна –  $330 \text{ мм/мин}$ , число сложений лент на ленточной машине – 5 при скорости выпуска  $500 \text{ м/мин}$ ) и формирования пряжи пневмомеханическим способом

прядения (частота вращения прядильной камеры  $45000 \text{ мин}^{-1}$ , частота вращения дискретизирующего барабанчика  $8200 \text{ мин}^{-1}$ , интенсивность сороудаления – 50 %) [5, 9, 22].

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

1. Разработан технологический процесс производства льносодержащей пряжи пневмомеханическим способом прядения, позволяющий в производственных условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» вырабатывать пряжу линейной плотности 40 – 90 текс с вложением 40 – 75 % котонизированного льняного волокна для производства тканей бытового назначения в соответствии с разработанным технологическим регламентом [1, 5, 9].
2. Разработана конструкция многосекционного экранированного ленточного измерительного конденсатора, применение которого позволяет с высокой точностью определять анизотропию по диэлектрической проницаемости продуктов прядения, а также пластмассы, древесины и других материалов. Получен патент на изобретение [4, 7, 23, 24].
3. Разработанный измерительный конденсатор может быть использован как для оценки неравномерности распределения разнородных компонентов в волокнистых смесях, так и для оценки изменения распрямленности волокон в однокомпонентных продуктах по переходам прядильного производства, а также для осуществления контроля влажности при лабораторных испытаниях пряжи и полуфабрикатов прядильного производства [4, 19, 20].
4. Диэлектрический метод определения состава полуфабрикатов прядильного производства хлопка внедрен на ОАО «Гронитекс». Получен акт, свидетельствующий о возможности применения диэлектрического метода для оценки эффективности технологических процессов переработки многокомпонентных волокнистых смесей в прядильном производстве.
5. Результаты исследований использованы для совершенствования технологического процесса производства льносодержащей пряжи по кардной системе прядения хлопка на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» и ОАО «Ветковская прядильная фабрика». Ожидаемый экономический эффект от внедрения технологии льносодержащей пряжи на ОАО «Ветковская прядильная фабрика» составляет 15 225 000 белорусских рублей в ценах на 10.10.2013, на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» 582 768 000 белорусских рублей в ценах на 01.05.2014.
6. Результаты работы используются в учебном процессе кафедры «Прядение натуральных и химических волокон» УО «ВГТУ» в дисциплинах «Технология и оборудование для производства ровницы и пряжи», «Технология и оборудование для производства ленты», в курсовом и дипломном проектировании. Получены акты внедрения в учебный процесс.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи:

1. Науменко, А. М. Разработка диэлькометрического метода оценки эффективности смешивания компонентов при производстве хлопкольнай пряжи / А. М. Науменко, Д. Б. Рыклин, А. А. Джежора // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2010. – Вып. 18. – С. 69–74.
2. Науменко, А. М. Измерение диэлектрической проницаемости хлопкового и льняного волокна с помощью многосекционных накладных конденсаторов / А. М. Науменко, А. А. Джежора // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2011. – Вып. 20. – С. 64–71.
3. Науменко, А. М. Моделирование процесса сложения неоднородных многокомпонентных продуктов / А. М. Науменко, Д. Б. Рыклин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2011. – Вып. 21. – С. 68–73.
4. Джежора, А. А. Диэлькометрия ортотропных материалов текстильной промышленности / А. А. Джежора, А. М. Науменко // Дефектоскопия – Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2011. – № 12. – С. 67–76.
5. Науменко, А. М. Выбор рационального технологического процесса производства льнохлопковой пряжи / А. М. Науменко, Д. Б. Рыклин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2012. – Вып. 23. – С. 55–61.
6. Науменко, А. М. Моделирование градиента неровноты смешивания идеальных двухкомпонентных продуктов / А. М. Науменко, Д. Б. Рыклин // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2013. – Вып. 25. – С. 42–49.
7. Джежора, А. А. Краевой эффект на торцах электродов при контроле ортотропных сред / А. А. Джежора, А. М. Науменко // Дефектоскопия – Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2014. – № 3. – С. 50–56.

### Материалы конференций:

8. Науменко, А. М. Исследование анизотропии диэлектрической проницаемости хлопкового и льняного волокна / А. М. Науменко, Д. Б. Рыклин // Материалы докладов 43 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета : / УО "ВГТУ". – Витебск, 2010. – С. 226–228.
9. Науменко, А. М. Оценка возможности повышения содержания льняного волокна в пряже пневмомеханического способа формирования / А. М. Науменко, П. В. Мурычев, Д. Б. Рыклин // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы международной научной

конференции, Витебск, ноябрь 2011 г. В 2 ч. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2011. – Ч. 1. – С. 89–91.

10. Наumenко, А. М. Определение диэлектрических характеристик, отражающих изменение состава хлопкольняных лент / А. М. Наumenко, Д.Б. Рыклин // 12 Всероссийская научно-инновационная конференция аспирантов, студентов и молодых ученых с элементами научной школы "Теоретические знания – в практические дела" : сборник материалов конференции : в 2 ч. / ГОУ ВПО "РосЗИТЛП" филиал в г. Омске. – Омск, 2011. – Ч. 1. – С.115–118.

11. Наumenко, А. М. Исследование зависимости диэлектрических свойств текстильных волокон от частоты электромагнитного поля / А. М. Наumenко, Д. Б. Рыклин // С наукой в будущее : материалы международной научно-практической конференции высших и средних специальных учебных заведений, Барановичи, 18 мая 2012 г. / УО "Барановичский государственный колледж легкой промышленности им. В. Е. Чернышева". – Барановичи, 2012. – С. 107–110.

12. Наumenко, А. М. Определение неровноты смешивания волокон диэлектрическим методом / А. М. Наumenко // Международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов университета "Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности": сборник материалов конференции, 27-28 ноября 2013 г. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2013. – С.58–61.

13. Наumenко, А. М. Оценка влияния плотности волокнистого материала на результаты измерения диэлектрической проницаемости / А. М. Наumenко, Д. Б. Рыклин // Международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов университета "Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности" : сборник материалов конференции, 27-28 ноября 2013 г. / УО "ВГТУ". – Витебск, 2013. – С. 61–64.

#### **Тезисы докладов:**

14. Наumenко, А. М. Исследование эффективности смешивания хлопкольняных лент / А. М. Наumenко, А. А. Джежора // Международная научно-техническая конференция "Современные технологии и оборудование текстильной промышленности" (ТЕКСТИЛЬ – 2011) : тезисы докладов, 29-30 ноября 2011 г. / ФГБОУ ВПО "МГТУ им. А. Н. Косыгина". – Москва, 2011. – С. 35–36.

15. Наumenко, А. М. Исследования процесса формирования пряжи линейной плотности 44 текс с высоким вложением котонизированного льняного волокна / А. М. Наumenко, П. В. Мурычев // Сборник тезисов докладов республиканской научной конференции студентов и аспирантов Республики Беларусь "НИРС – 2011", Минск, 18 октября 2011 г. / БГУ. – Минск, 2011. – С. 333.

16. Мурычев, П. В. Исследования процесса формирования льнохлопковой пряжи на пневмомеханической прядильной машине / П. В. Мурычев, А. М. Науменко // Межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов "Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности" (Поиск – 2011) : сборник материалов, 26-28 апреля 2011 г. : в 2 ч. / ИГТА. – Иваново, 2011. – Ч. 1. – С. 5–7.

17. Науменко, А. М. Электроемкостной метод контроля состава и структуры текстильных материалов / А. М. Науменко, А. А. Джежора // Первый форум союзного государства ВУЗов инженерно-технологического профиля: тезисы докладов, 21-25 мая 2012 г. / БНТУ – Минск, 2012. – С. 22–23.

18. Науменко, А. М. Влияние линейной плотности компонентов на неровноту смешивания / А. М. Науменко, Д. Б. Рыклин // Международная научно-техническая конференция "Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности" (Прогресс – 2012) : сборник материалов, 30 мая – 1 июня 2012 г. : в 2 ч. / ФГБОУ ВПО "ИГТА". – Иваново, 2012. – Ч. 1. – С. 17–18.

19. Науменко, А. М. Диэлькометрический метод оценки распрямленности волокон / А. М. Науменко // Межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов "Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности" (Поиск – 2012) : сборник материалов, 23-25 апреля 2012 г. : в 2 ч. / ИГТА. – Иваново, 2012. – Ч. 1. – С. 8–9.

20. Науменко, А. М. Исследование распрямленности хлопковых волокон диэлькометрическим методом / А. М. Науменко, Д. Б. Рыклин // Международная научно-техническая конференция "Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности" (Прогресс – 2013) : сборник материалов, 27-29 мая 2013 г. : в 2 ч. / ФГБОУ ВПО "Текстильный институт ИВГПУ". – Иваново, 2013. – Ч. 1. – С. 38–39.

21. Науменко, А. М. Анализ ассортимента льнохлопковой пряжи / А. М. Науменко, Е. В. Назаренко, Д. Б. Рыклин // Тезисы докладов 45 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО "ВГТУ". – Витебск, 2013. – С. 127.

22. Ryklin, D. Investigation of flax/cotton blends carding / D. Ryklin, A. Navumenka // International Scientific Conference "eRA – 9" [Electronic resource]. – T.E.I. of Piraeus, Athens, 2014. – Mode of access: [http://era.teipir.gr/sites/default/files/engineering\\_iii\\_session.pdf](http://era.teipir.gr/sites/default/files/engineering_iii_session.pdf) – Date of access: 01.10.2014.

**Патенты:**

23. Конденсатор для определения анизотропии материала по диэлектрической проницаемости: пат. № 16136 Республика Беларусь, МПК G 01 R 27/26 / А. А. Джежора, А. М. Наumenко; заявитель Витебский государственный технологический университет – № а 20101026 заявл. 07.07.2010, опубл. 10.04.2012. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1. – С. 29.

24. Конденсатор для определения анизотропии материала по диэлектрической проницаемости: Республика Беларусь, МПК G 01 R 27/26 / А. А. Джежора, А. М. Наumenко; заявитель Витебский государственный технологический университет – № а 20131188 заявл. 14.10.2013. – 2013.

## РЭЗІЮМЕ

Навуменка Андрэй Міхайлавіч

**Техналогія смешанай шматкампанентнай ільнай пражы  
пневмамеханічнага спосаба фарміравання**

**Ключавыя словы:** тэхналагічны працэс, пражы, лён, бавоўна, нераўнаты змешвання, катанізацыя, дыэлектрычная пранікальнасць.

**Аб'ектам даследвання** з'яўляюцца шматкампанентная ільная пражы і паўфабрыкаты прадзільнай вытворчасці.

**Мэтай работы** з'яўляецца пашырэнне асартыменту шматкампанентнай ільнай пражы і павышэнне эфектыўнасці тэхналагічных працэсаў вытворчасці змешанай пражы з выкарыстаннем ільнага валокна.

**Метадалогія даследвання:** Пры распрацоўцы рэкамендацый па ўдасканаленню тэхналагічнага працэсу вытворчасці шматкампанентнай ільнай пражы па карднай сістэме прадзення бавоўны выкарыстоўваліся вынікі тэарэтычных і эксперыментальных даследванняў з ужываннем метадаў матэматычнага мадэлявання, планавання эксперыменту, матэматычнай статыстыкі і праграмавання. Апрацоўка вынікаў даследаванняў ажыццяўлялася з выкарыстаннем ЭВМ.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацаваны тэхналагічны працэс вытворчасці шматкампанентнай ільнай пражы пневмамеханічнага спосабу фарміравання па карднай сістэме прадзення бавоўны; распрацаваны рэкамендацыі па выбары рацыянальных рэжымаў перапрацоўкі шматкампанентных ільных сумесяў на бавоўнапрадзільна абсталяванні. Навуковая навізна працы складаецца ў распрацоўцы матэматычных метадаў разліку градыенту нераўнаты змешвання кампанентаў у ідэальных двух- і трохкампанентных прадуктах, якія характарызуюцца розным складам, даўжынёй і лінейнай шчыльнасцю валокнаў кампанентаў; распрацоўцы новага дыэлектрычнага метаду вызначэння нераўнаты змешвання валокнаў разнастайных кампанентаў ў пражы і паўфабрыкатах прадзільнага вытворчасці, які дазваляе з дастатковай дакладнасцю ў вытворчых умовах аператыўна ажыццяўляць інструментальную ацэнку эфектыўнасці змешвання.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні:** Рацыянальныя рэжымы перапрацоўкі шматкампанентных ільных сумесяў валокнаў выкарыстаны на ААТ «Веткаўская прадзільная фабрыка» і РУВГП «Аршанскі льнокамбінат». Методыка вызначэння нераўнаты змешвання валокнаў ў пражы і паўфабрыкатах прадзільнай вытворчасці дыэлектрычным метадам апрабавана на ААТ "Гронітэкс".

**Галіна выкарыстання:** тэкстыльная вытворчасць.

## РЕЗЮМЕ

Науменко Андрей Михайлович

### Технология смешанной льносодержащей пряжи пневмомеханического способа формирования

**Ключевые слова:** пряжа, лен, хлопок, неровнота смешивания, котонизация, диэлектрическая проницаемость.

**Объектом исследования** являются многокомпонентная льносодержащая пряжа и полуфабрикаты прядильного производства.

**Цель работы** – расширение ассортимента льносодержащей пряжи и повышение эффективности технологических процессов переработки короткого льняного волокна.

**Методология исследования:** При разработке рекомендаций по совершенствованию технологического процесса производства льносодержащей пряжи формирования по кардной системе прядения хлопка применялись результаты теоретических и экспериментальных исследований с использованием методов математического моделирования, планирования эксперимента, математической статистики и программирования. Обработка результатов исследований осуществлялась с использованием ЭВМ.

**Полученные результаты и их новизна:** разработан технологический процесс производства льносодержащей пряжи пневмомеханического способа формирования по кардной системе прядения хлопка; разработаны рекомендации по выбору рациональных режимов переработки котонизированного льняного волокна и льносодержащих волокнистых смесей на хлопкопрядильном оборудовании. Научная новизна работы заключается в разработке математических методов расчета градиента неровноты смешивания компонентов в идеальных двух- и трехкомпонентных продуктах, характеризующихся различным составом, длиной и линейной плотностью волокон компонентов; разработке нового диэлектрического метода определения неровноты смешивания волокон разнородных компонентов в пряже и полуфабрикатах прядильного производства, позволяющий с достаточной точностью в производственных условиях оперативно осуществлять инструментальную оценку эффективности смешивания.

**Рекомендации по использованию:** Рациональные режимы работы оборудования при переработке льносодержащих смесей волокон использованы на ОАО «Ветковская прядильная фабрика» и РУПТП «Оршанский льнокомбинат». Разработана методика определения неровноты смешивания в пряже и полуфабрикатах прядильного производства диэлектрическим методом, апробированная на ОАО «Гронитекс».

**Область применения:** текстильное производство.

## SUMMARY

Navumenka Andrei Mihailavich

### Technology of blended flax-containing OE-spun yarn

**Keywords:** technology, yarn, flax, cotton, blending irregularity, cottonization, dielectric constant.

**Object of research:** flax-containing blended yarns and semi-products.

**Purpose of research:** diversification flax-containing yarn and improving of the technology effectiveness of blended yarns with flax fibres manufacturing.

**Methods of research:** The development of recommendations for improving manufacturing process of flax-containing carded yarn was based on the results of the theoretical and experimental research using the methods of mathematical simulation, experiment planning, mathematical statistics and programming. The statistical analyzing of the research results was implemented with computer technology.

**The results and their novelty:** the manufacturing process of flax-containing carded OE-spun yarn were developed, selection guideline of equipment setting for flax-containing fiber blends processing was developed. Scientific novelty of the work is in the development of the mathematical methods for calculating of variance-length curve of blending irregularity for ideal products from two or three kinds of fibres in depending on lengths, linear densities and percentage of these fibres, development of new dielectric method for blending irregularity measuring of yarns and semi-products that allows to assess the blending efficiency in production environment with sufficient accuracy.

The selection guideline of equipment setting for flax-containing fiber blends processing were used at OJSC "Vetka Cotton Spinning Mill" and RUPTE "Orsha Linen Mill." The dielectric method for fibres blending irregularity of yarns and semi-products was tested at OJSC "Gronitex."

**Fields of Application:** textile industry.

**НАУМЕНКО АНДРЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИЯ СМЕШАННОЙ ЛЬНОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРЯЖИ  
ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 31.10.14. Формат 60×90 1/16. Печать ризографическая.  
Уч.-изд. л. 2,1. Усл. печ. л. 1,9. Тираж 80 экз. Заказ 312.

---

Отпечатано на ризографе ЦИТ УО «ВГТУ».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 года  
210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.