

ИННОВАЦИИ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

МОНОГРАФИЯ

ВИТЕБСК 2016

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Совет молодых ученых ВГТУ

ИННОВАЦИИ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Монография

Витебск

2016

УДК 677.02
ББК 37.23
И 66

Авторский коллектив:

Абрамович Н.А. (6), Акиндинова Н.С. (4), Бизюк А.Н. (1), Вайлунова Ю.Г. (10), Дементьева Е.С. (9), Джежора А.А. (9), Дягилев А.С. (1), Зимина Е.Л. (8), Иваненков Д.А. (4), Казарновская Г.В. (4,6), Катович О.М. (3), Коган А.Г. (1), Костин П.А. (5), Медвецкий С.С. (3), Мурычева В.В. (7), Надежная Н.Л. (2), Науменко А.М. (9), Самутина Н.Н. (6), Яшева Г.А. (10).

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, профессор Текстильного института им. А.Н. Косыгина Московского государственного университета дизайна и технологий, заслуженный деятель науки Российской Федерации С.Д. Николаев;

доктор технических наук, профессор, первый проректор Белорусского государственного экономического университета, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации В.В. Садовский.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 7 от 28.09.2016.

И 66 Инновации в текстильной промышленности : монография / А.С. Дягилев, Н.Н. Самутина, О.М. Катович [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2016. – 221 с.

ISBN 978-985-481-438-4

Монография содержит научные исследования авторов в области инновационных разработок в текстильной промышленности. Может быть полезна для специалистов текстильных предприятий и научно-технических работников, занимающихся изучением технологических процессов текстильной промышленности при разработке новых технологических процессов и создании нового ассортимента пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов.

**УДК 677.02
ББК 37.23**

ISBN 978-985-481-438-4

© УО «ВГТУ», 2016

Ministry of Education of Republic of Belarus

Education Establishment

«Vitebsk state technological university»

Council of young scientific VSTU

**INNOVATIONS IN TEXTILE
INDUSTRY**

Monograph

Vitebsk

2016

UDC 677.02
BBK 37.23
I 66

Group of authors:

Abramovich N.(6), Akindinova N.(4), Bizyuk A.(1), Vaylunova Y.(10), Dementieva E.(9), Dzhezhora A.(9), Dyagilev A.(1), Zimina E.(8), Ivanenkov D.(4), Kazarnovskaya G.(4,6), Katovich O.(3), Kogan A.(1), Kostin P.(5), Medvetsky S.(3), Murycheva V.(7), Nadiognaya N.(2), Naumenko A.(9), Samutsina N.(6), Yasheva G.(10).

Reviewers:

doctor of Engineering, professor, professor of Textile institute of A. Kosygin of Moscow State University of design and technologies, honored worker of science of the Russian Federation S. Nikolaev;

doctor of Engineering, professor, first vice rector of Belarusian State Economic University, honored worker of higher school of the Russian Federation V. Sadovsky.

It is recommended to the edition publishing recommendation EE «VSTU», the protocol No. 7 from 28.09. 2016.

I 66 Innovation in the textile industry: monograph / [A. Dyagilev, N. Samutsina, O. Katovich [etc.]. – Vitebsk: EE «VSTU», 2016. – 221 pages.

ISBN 978-985-481-438-4

The monograph contains scientific researches of authors in the field of innovative developments in the textile industry. It can be useful to specialists of the textile entities and scientific and technical workers who are engaged in studying of engineering procedures of the textile industry in case of development of new engineering procedures and creation of new range of a yarn, fabrics, jersey and nonwoven fabrics.

UDC 677.02
BBK 37.23

ISBN 978-985-481-438-4

© EE «VSTU», 2016

Дорогие читатели!

Республика Беларусь, выбрав инновационный путь развития, одним из приоритетных направлений определила привлечение молодежи в науку. Высокая потребность белорусского общества в молодых ученых связана с необходимостью разработки прорывных, новых направлений в науке, научного обеспечения социально-экономического развития, которые бы позволили Республике Беларусь успешно конкурировать в глобальном экономическом пространстве и обеспечить высокий уровень жизни своих граждан. В Республике Беларусь уделяется большое внимание молодежной политике в сфере науки. Принят ряд программных документов, направленных на создание условий для устойчивого воспроизводства кадрового потенциала в науке, повышения заинтересованности молодежи в научной карьере, реализации творческого потенциала молодых ученых.

Для Витебского государственного технологического университета становление и профессиональное развитие молодых ученых имеет первостепенное значение. В университете созданы и успешно функционируют восемь научно-педагогических школ, в рамках которых под руководством известных ученых формируются молодые кадры. В 2015 году воссоздан Совет молодых ученых университета, который включает молодых преподавателей разных кафедр и направлений, ориентированных на развитие университета. Совет молодых ученых принимает активное участие в научно-исследовательской работе университета. Ярким мероприятием, организованным Советом, стало проведение в марте 2016 года Международной научно-практической конференции «Моделирование в технике и экономике», являющейся базовым мероприятием 4-го этапа Республиканского Фестиваля молодежной вузовской науки «Молодежь в науке и производстве», проводимого Министерством образования Республики Беларусь. Перед Вами еще один весомый результат работы Совета молодых ученых университета – подготовленная коллективная монография, отражающая основные направления и результаты научно-исследовательской работы молодежи, которые получены под руководством и в тесном сотрудничестве с их научными руководителями. Издание данной монографии поддержано Советом университета и нацелено на формирование и поддержку высокого престижа научной, инновационной и научно-образовательной сфер для профессиональной деятельности молодежи как в ВГТУ, так и в Республике Беларусь в целом. Искренне желаю успеха и востребованности данной монографии, а ее авторам – творческого вдохновения, новых достижений и научных открытий во благо нашей Родины!

С уважением, ректор ВГТУ, профессор



А.А. Кузнецов

Сведения об авторах

Акиндинова Наталья Станиславовна, доцент кафедры «Технология текстильных материалов» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 60 научных работ. Лауреат конкурса на лучшую диссертацию 2015 г. Республики Беларусь в отрасли «Технические и сельскохозяйственные науки».

Абрамович Наталья Анатольевна, доцент кафедры «Дизайн» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 80 научных работ. Член Белорусского союза дизайнеров с 2003 года.

Бизюк Андрей Николаевич, старший преподаватель кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» Витебского государственного технологического университета. Автор более 20 научных работ.

Вайлунова Юлия Геннадьевна, ассистент кафедры «Экономическая теория и маркетинг» Витебского государственного технологического университета, магистр экономических наук. Автор более 60 научных работ. В 2010 году объявлена Благодарность председателя Витебского областного исполнительного комитета. Лауреат премии Витебского областного исполнительного комитета талантливым молодым ученым и специалистам на 2014 год.

Дементьева Елена Сергеевна, заведующая кафедрой «Физика» Пензенского государственного технологического университета, кандидат педагогических наук. Автор более 60 научных работ.

Джежора Александр Александрович, заведующий кафедрой «Математика и информационные технологии» Витебского государственного технологического университета, доктор технических наук. Автор более 130 научных работ.

Дягилев Андрей Степанович, доцент кафедры «Математика и информационные технологии» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук, докторант. Автор более 100 научных работ.

Зими́на Елена Леонидовна, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук, докторант. Автор более 102 научных работ. Лауреат стипендии Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым за 2009 год.

Иваненков Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук. Автор более 30 научных работ.

Казарновская Галина Васильевна, заведующая кафедрой «Дизайн» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 320 научных работ. Награждена: медалью «За трудовые заслуги», значком «Отличник образования Республики Беларусь», грамотой Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, Почетными грамотами Министерства образования Республики Беларусь. Член Белорусского союза дизайнеров.

Катович Оксана Михайловна, старший преподаватель кафедры «Математика и информационные технологии» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 30 научных работ. Лауреат стипендии Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым за 2015 год. Лауреат премии Витебского областного исполнительного комитета талантливым молодым ученым и специалистам на 2016 год.

Коган Александр Григорьевич, профессор кафедры «Технология текстильных материалов» Витебского государственного технологического университета, доктор технических наук. Автор более 500 научных работ. Награжден: значком «Отличник образования», нагрудным знаком Министерства высшего и среднего специального образования «За отличные успехи в работе», званием «Человек года Витебщины», званием Почетный доктор Московского государственного текстильного университета им. А. М. Косыгина, Почетными грамотами Министерства образования Республики Беларусь, концерна «Беллепром», Витебского областного исполнительного комитета.

Костин Павел Андреевич, старший преподаватель кафедры «Математики и информационных технологий» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 27 научных работ. Лауреат стипендии Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым за 2012 год.

Медвецкий Сергей Сергеевич, доцент кафедры «Технология текстильных материалов» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 100 научных работ.

Мурычева Виктория Владимировна, старший преподаватель кафедры «Технология текстильных материалов» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 25 научных работ.

Надёжная Наталья Леонидовна, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 40 научных работ. Лауреат стипендии Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым за 2016 год.

Науменко Андрей Михайлович, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 25 научных работ. Лауреат стипендии Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым за 2013 год.

Самутина Наталья Николаевна, доцент кафедры «Дизайн» Витебского государственного технологического университета, кандидат технических наук. Автор более 92 научных работ. Получены: Стипендия Специального фонда Президента Республики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов за 2003 год, Почетная грамота Витебского Городского Совета депутатов за 2009 год, Стипендия Совета университета за 2006 год.

Яшева Галина Артемовна, заведующая кафедрой «Экономическая теория и маркетинг» Витебского государственного технологического университета, доктор экономических наук, профессор. Автор более 300 научных работ. Награждена: Стипендией Президента Республики Беларусь деятелям науки за 2012 год, Грамотой Министерства образования Республики Беларусь за многолетний труд и личный вклад в развитие университета в 2015 году. Получено поощрение из Специального фонда Президента Республики Беларусь по социальной поддержке одаренных учащихся и студентов за особый вклад в развитие способностей одаренных учащихся и студентов по итогам 2012-2013 учебного года.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. Производственный контроль качества на предприятии текстильной промышленности	9
ГЛАВА 2. Комплексный анализ деформационных свойств трикотажных полотен для компрессионных медицинских изделий	26
ГЛАВА 3. Разработка технологических процессов получения гребенной и полугребенной пряжи с использованием средневолокнистого хлопка	49
ГЛАВА 4. Проектирование тканей классических и новых гобеленовых структур	66
ГЛАВА 5. Оптимизация электрофизических свойств тканей из электропроводящей пряжи	91
ГЛАВА 6. Использование информационных технологий для проектирования и визуализации полутораслойных тканей	108
ГЛАВА 7. Текстильные композиционные материалы, полученные способом импрегнирования тканой основы	126
ГЛАВА 8. Технология производства нетканых материалов из текстильных отходов	142
ГЛАВА 9. Электроемкостной метод контроля и диагностики качества материалов текстильной промышленности	158
ГЛАВА 10. Механизмы повышения конкурентоспособности текстильного и швейного производства Республики Беларусь на основе создания интеграционных структур	176
Литература	197

ГЛАВА 1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В современных условиях стремительного изменения требований рынка к продукции текстильных предприятий, быстрого изменения перечня вырабатываемой продукции, смены ассортимента перерабатываемых текстильных волокон необходимо использовать как современные технологии производства, так и информационные системы для анализа и контроля качества выпускаемой продукции [1, 2, 3, 4, 5]. РУПТП «Оршанский льнокомбинат» является крупнейшим в СНГ и Восточной Европе предприятием по объемам переработки льноволокна и производству изделий из него и объединяет в своей структуре производства, включающие процессы от переработки трепаного льноволокна до пошива готовых изделий.

При этом важным этапом в производственном цикле является контроль качества перерабатываемого трепаного льна. Качество трепаного льноволокна характеризуется его прядильной способностью, определяемой линейной плотностью продукта прядения, который может быть получен из данного льноволокна. Согласно действующим в Республике Беларусь и Российской Федерации национальным стандартам качества льноволокна прядильная способность определяется инструментальным методом на основе измерения ряда физико-механических свойств (разрывная нагрузка, гибкость, расщепленность, цвет, длина и т. д.). Льноволокно, по сравнению с другими натуральными волокнами, отличается высокой вариативностью физико-механических свойств, что связано с влиянием большого количества факторов природного и технологического характера. Так, например, качество перерабатываемого льноволокна может зависеть как от региона произрастания, так и от предприятия-производителя. Для контроля и прогнозирования качества продуктов прядения и вырабатываемой пряжи необходимо осуществлять непрерывный лабораторный контроль и анализ физико-механических свойств перерабатываемого льноволокна и продуктов прядения на разных этапах технологического процесса. На РУПТП «Оршанский льнокомбинат» норма переработки длинного трепанного льноволокна составляет порядка 20 тонн в сутки и обеспечивается более чем 50 льнозаводами. При этом контроль качества льноволокна и продуктов прядения осуществляется в текстильных лабораториях трех прядильных фабрик и сырьевого отдела территориально удаленных друг от друга.

Для повышения оперативности контроля и повышения качества вырабатываемой пряжи специалистами Витебского государственного технологического университета совместно с сотрудниками

РУПТП «Оршанский льнокомбинат» был разработан программно-аппаратный комплекс для контроля качества перерабатываемого льноволокна. Ввиду значительных масштабов комбината, разработанный комплекс распределен по его территории и включает в себя центральный сервер, расположенный в отделе АСУ комбината, и рабочие места начальников лабораторий и лаборантов, расположенные в текстильных лабораториях, связь между которыми осуществляется через корпоративную компьютерную сеть комбината.

При создании программно-аппаратного комплекса использовались современные технологии разработки сетевых приложений: web-ориентированные языки – PHP, JavaScript, CSS; серверная операционная система Linux; web-сервер Apache; система управления базами данных MySQL. Для статистической обработки данных и генерации их графического отображения использовался функциональный язык программирования R [6], что позволяет использовать все многообразие современных статистических методов для анализа накапливаемой производственной статистики. Использование web-технологий для разработки программно-аппаратного комплекса позволяет организовать доступ к возможностям комплекса с различных устройств, таких как: персональные компьютеры, планшеты, смартфоны и т. д. Так, например, для повышения мобильности рабочие места лаборантов оборудованы переносными устройствами сенсорного ввода данных, обеспечивающими доступ ко всем возможностям комплекса по беспроводной технологии Wi-Fi.

На рисунке 1 приведена функциональная схема разработанного программно-аппаратного комплекса.

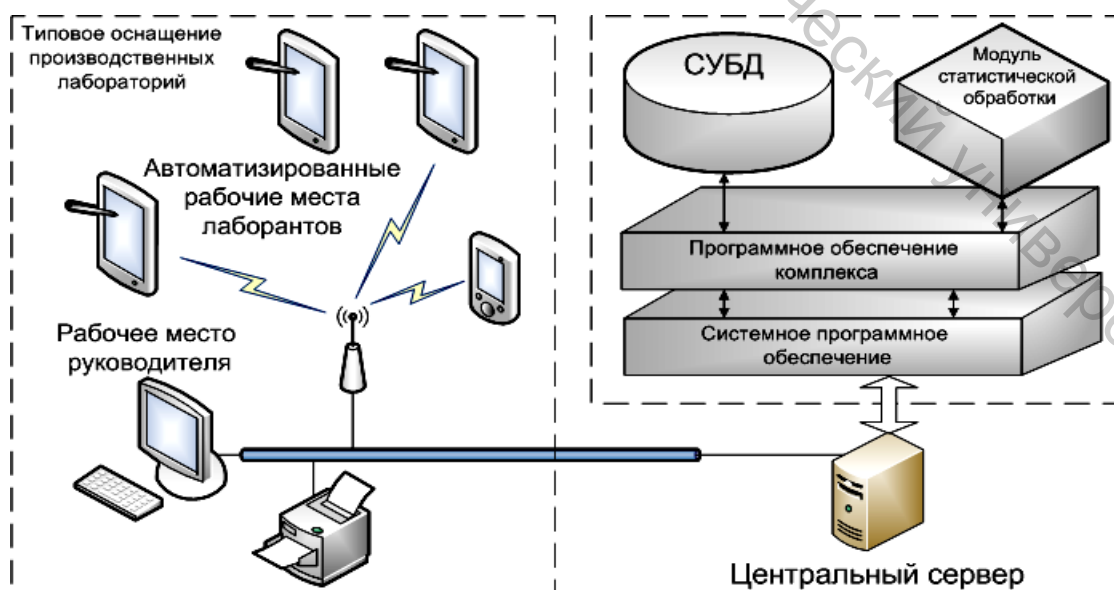


Рисунок 1 – Функциональная схема программно-аппаратного комплекса

В основе исследования качества длинного трепаного льноволокна лежит процедура контрольных прочесов, в процессе которой устанавливается взаимосвязь между физико-механическими и качественными показателями длинного трепаного льна, чесаного льна в ленте и льняного очеса, определяемыми согласно действующим нормативным правовым актам [7, 8, 9, 10, 11].

Действующая методика оценки прядильной способности длинного трепаного льноволокна внедрена в нормативные акты в 80-х годах XX-го века. Согласно ей льноволокно подразделяется на номера с 8 по 24. При этом в последние десять лет длинное трепаное льноволокно ниже 10 номера не закупается Оршанским льнокомбинатом, так как не обеспечивает необходимые показатели качества вырабатываемой пряжи, а волокно выше 13 номера практически не производится отечественными льнозаводами, что связано с изменением климатических условий и недостаточной селекционной работой. Кроме того, использование в действующей методике упрощенных статистических формул хоть и упрощает расчеты, но при этом приводит к статистической неустойчивости получаемой оценки прядильной способности льноволокна [12]. В условиях узкого выбора качественных показателей закупаемого льноволокна и больших объемов его переработки повышается значимость мероприятий по контролю качества и становится особенно актуальной автоматизация этих мероприятий на основе современных информационных технологий.

Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет производить автоматизированную оценку прядильной способности льноволокна в соответствии с действующими техническими правовыми нормативными актами, проводить статистический анализ изменения физико-механических свойств и качественных характеристик льноволокна в процессе переработки, а также собирать и проводить автоматизированный анализ различной производственной статистики с учетом объемов поставок, районирования, селекции льноволокна и т. д.

В условиях жесткой конкуренции на внутреннем и внешних рынках текстильных товаров усиливается значимость контроля качества на всей технологической цепочке производства текстильных материалов [15, 16]. В связи с этим особую практическую значимость для Республики Беларусь имеет контроль и оценка качества тканей, пряжи и полуфабрикатов, вырабатываемых из отечественного льноволокна. Данная работа посвящена экспериментальному исследованию прядильной способности длинного трепаного льноволокна. Данные о физико-механических свойствах длинного трепаного льноволокна получены с помощью информационной системы контроля качества РУПТП «Оршанский льнокомбинат», являющегося

системообразующим льноперерабатывающим предприятием Республики Беларусь, крупнейшим в Восточной Европе.

Качество длинного трепаного льноволокна характеризуется его прядильной способностью, оцениваемой согласно методике, изложенной в действующих нормативных актах Республики Беларусь и Российской Федерации [7, 8], которая была ГОСТирована в СССР. С помощью номера волокна оценивается номер гипотетического продукта прядения, который можно получить из данного волокна. Таким образом, чем выше номер, тем выше его прядильная способность и меньше линейная плотность пряжи, которую можно из него получить.

Особенности применяемой методики заключаются в том, что низкие значения одного из физико-механических свойств могут быть компенсированы более высоким значением другого. Численная оценка прядильной способности – N (номер) находится по следующей формуле:

$$N = A + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4, \quad (1)$$

где X_1 – горстевая длина, см; X_2 – группа цвета; X_3 – разрывная нагрузка, Н; X_4 – гибкость, мм; A, A_1, A_2, A_3, A_4 – коэффициенты, значение которых изменяется в зависимости от значения горстевой длины трепаного льноволокна. После получения расчетного значения номера длинного трепаного льноволокна в него могут вноситься поправки в зависимости от горстевой длины, заостренности, наличия недоработки, значения произведений коэффициентов вариации по разрывной нагрузке и гибкости.

Данная методика призвана обеспечить соблюдение отраслевых норм [11] при производстве льняной пряжи, которые в свою очередь регламентируют нормы выхода и качественные характеристики чесаного льноволокна и льняного очеса, вырабатываемых из длинного трепаного волокна заданного номера.

На рисунке 2 приведено распределение номеров, определенных согласно действующей нормативной документации [7 – 11], белорусского длинного трепаного льноволокна урожая 2013 – 2015 годов.

Как видно из рисунка 2, в поставках белорусских льнозаводов преобладает длинное трепаное льноволокно 11 номера. Волокно ниже 10 номера не закупается льнокомбинатом, волокно 14 и более высоких номеров не поставлялось белорусскими льнозаводами в 2013 – 2015 годах.

В связи с меняющимися климатическими условиями, культивированием новых сортов льна, использованием новых видов удобрений и химикатов меняются вероятностные распределения

физико-механических свойств льноволокна и, как следствие, его прядильная способность.

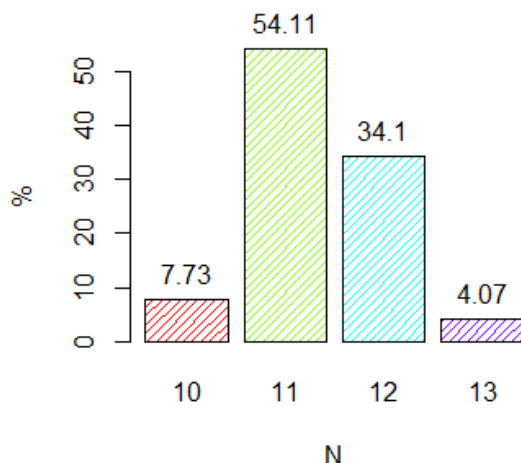


Рисунок 2 – Распределение номеров длинного трепаного льноволокна урожая 2013 – 2015 годов

Это приводит к учащению случаев несоответствия качественных показателей длинного трепаного льноволокна, чесаного льноволокна и льняного очеса требованиям отраслевых норм [7 – 11].

Для экспериментального исследования качественных и физико-механических свойств длинного трепаного льноволокна и производимых из него чесаного льноволокна и льняного очеса в производственных условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» согласно [7] была проведена серия из 200 контрольных прочесов [17 – 23] на льночесальной машине Ч-302-Л [26], агрегированной с автоматической раскладочной машиной АР-500-ЛЗ.

Распределение номеров (показателей качества) длинного трепаного льноволокна, участвовавшего в контрольных прочесах, соответствует распределению номеров [24], перерабатываемых на второй фабрике РУПТП «Оршанский льнокомбинат», и приведено на рисунке 3 а.

Для анализа результатов контрольных прочёсов были построены адекватные регрессионные модели со статистически значимыми регрессионными коэффициентами, на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Линии тренда и 95 % доверительные пределы построенных моделей приведены на рисунках 3 б, 3 в, 3 г.

Регрессионная зависимость, рисунок 3 б, номера чесаного льноволокна от номера длинного трепаного льноволокна имеет вид:

$$N_q = 15.375, \quad (2)$$

где N_q – номер чесаного льноволокна.

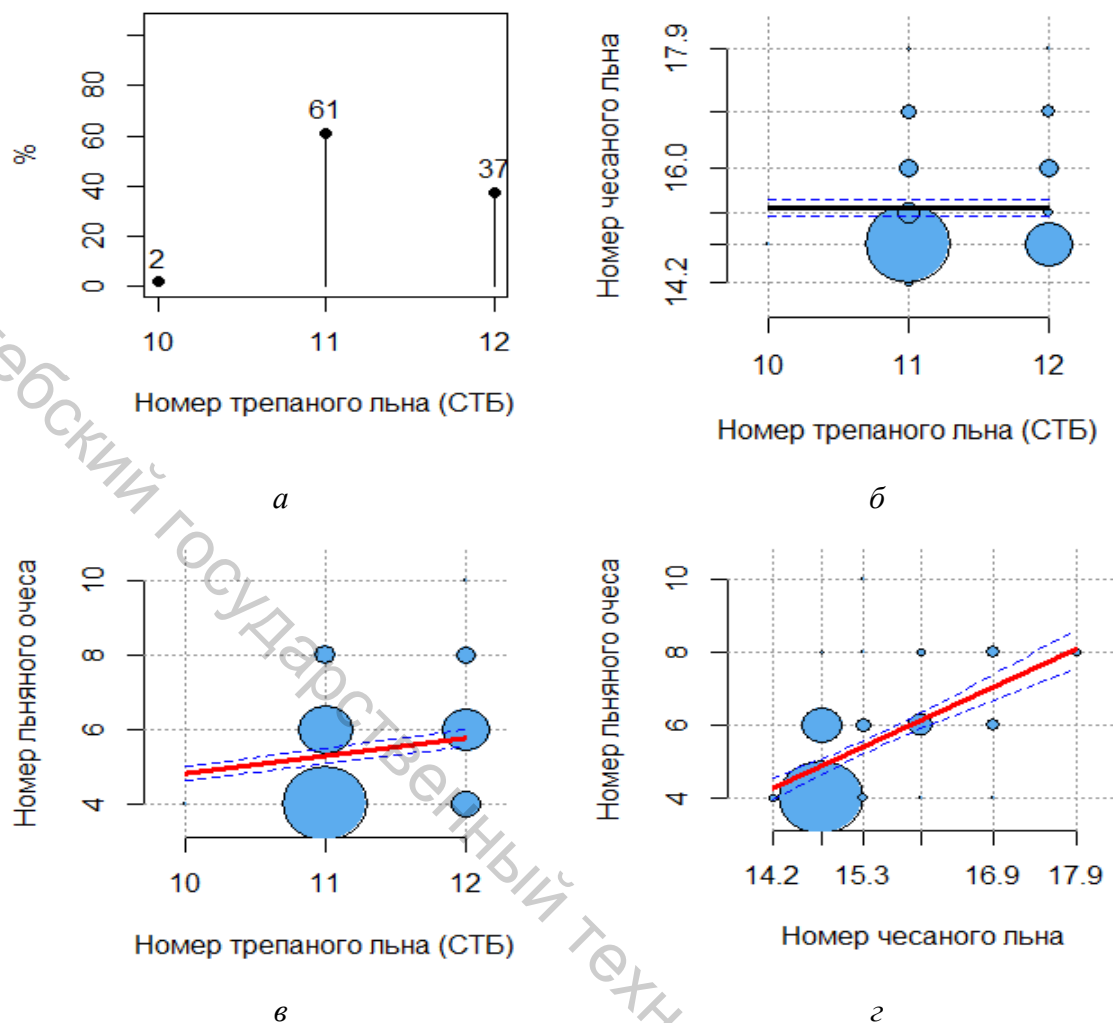


Рисунок 3 – Распределения качественных характеристик льноволокна при контрольных прочесах

Как видно из модели (2), статистически значимая (на уровне значимости $\alpha = 0,05$) взаимосвязь между номерами чесаного льноволокна и длинного трепаного льноволокна отсутствует. При этом среднее значение номера вырабатываемого чесаного льноволокна составляет 15.375. Отсутствие статистически значимой регрессионной зависимости между номерами чесаного льноволокна и длинного трепаного льноволокна, определенных согласно действующих технических нормативных правовых актов, не позволяет использовать номер длинного трепаного льноволокна для адекватного прогнозирования его прядильной способности.

Регрессионная зависимость (рисунок 3 в) номера льняного очеса от номера длинного трепаного льноволокна имеет вид:

$$N_o = 0.481N_T, \quad (3)$$

где N_o – номер льняного очеса; N_T – номер трепаного льноволокна, определенный согласно СТБ 1195 [7].

Как видно из модели (3), при увеличении номера перерабатываемого длинного трепаного льноволокна на 1 среднее значение номера вырабатываемого льняного очеса увеличивается на 0.481. Коэффициент детерминации регрессионной модели (3) составляет $R^2 = 0.93$ ($p\text{-value} < 2 \cdot 10^{-16}$).

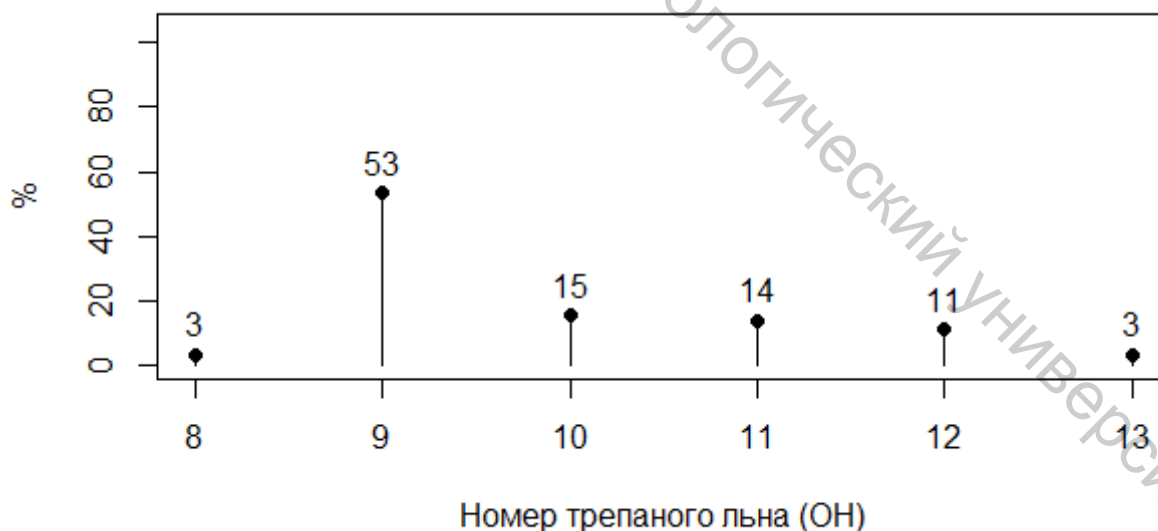
Регрессионная зависимость (рисунок 3 з) номера льняного очеса от номера чесаного льноволокна имеет вид:

$$N_o = -10.497 + 1.038N_q, \quad (4)$$

где N_o – номер льняного очеса; N_q – номер чесаного льноволокна.

Как видно из модели (4), при увеличении номера вырабатываемого чесаного льноволокна на 1 среднее значение номера вырабатываемого льняного очеса увеличивается на 1.038. Коэффициент детерминации регрессионной модели (4) составляет $R^2 = 0.35$ ($p\text{-value} < 2 \cdot 10^{-16}$).

Согласно требованиям отраслевых норм [11], устанавливающих нормы выхода качественных показателей чесаного льноволокна и льняного очеса при переработке длинного трепаного льноволокна, был произведен перерасчет значений номеров длинного трепаного льноволокна в соответствии с результатами контрольных прочесов (рисунок 4 а).



а

Рисунок 4 – Распределения качественных характеристик льноволокна при контрольных прочесах (согласно отраслевым нормам)

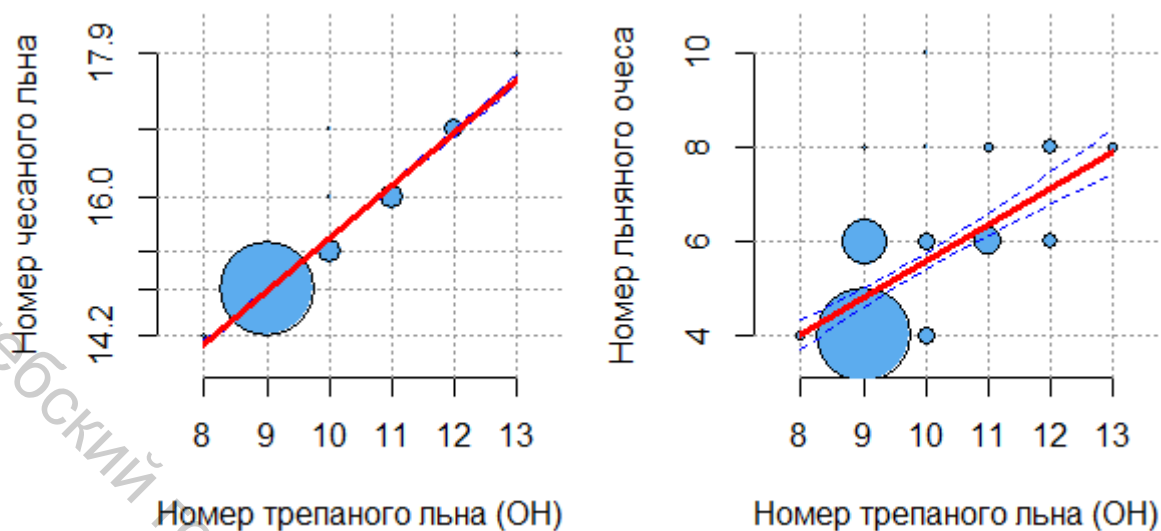


Рисунок 4 (продолжение) – Распределения качественных характеристик льноволокна при контрольных прочесах (согласно отраслевым нормам)

Как видно из рисунка 4 а, больше 50 % переработанного в результате контрольных прочесов длинного трепаного льноволокна, согласно отраслевым нормам, соответствует номеру 9 и ниже. Это не соответствует требованиям РУПТП «Оршанский льнокомбинат», закупающего длинное трепаное льноволокно не ниже 10 номера.

Согласно критерию Колмогорова-Смирнова была отвергнута нулевая гипотеза ($p\text{-value} < 2.2 \cdot 10^{-16}$) об общем вероятностном законе распределения качественных характеристик (номеров) длинного трепаного льноволокна, определенных согласно методики действующего СТБ (рисунок 3 а), и соответствующих отраслевым нормам (рисунок 4 а).

На рисунке 5 приведено совместное распределение номеров длинного трепаного льноволокна, определенных в соответствии с действующим стандартом (СТБ) и отраслевыми нормами (ОН).

Пунктирная линия на рисунке 5 соответствует совпадению показателей качества, определённых в соответствии с действующим стандартом и отраслевыми нормами. Как видно из рисунка, в результате проведенных контрольных прочесов только в 20,3 % случаев обеспечивались качественные характеристики чесаного льноволокна и льняного очеса не ниже требований, заложенных в отраслевые нормы.

На рисунке 6 приведены распределения разрывной нагрузки, гибкости, коэффициента вариации по разрывной нагрузке, коэффициента вариации по гибкости, группы цвета, горстевой длины

длинного трепаного льноволокна по номерам, определенным согласно отраслевым нормам.



Рисунок 5 – Совместное распределение номеров длинного трепаного льноволокна, определенных в соответствии с действующим стандартом (СТБ) и отраслевыми нормами (ОН)

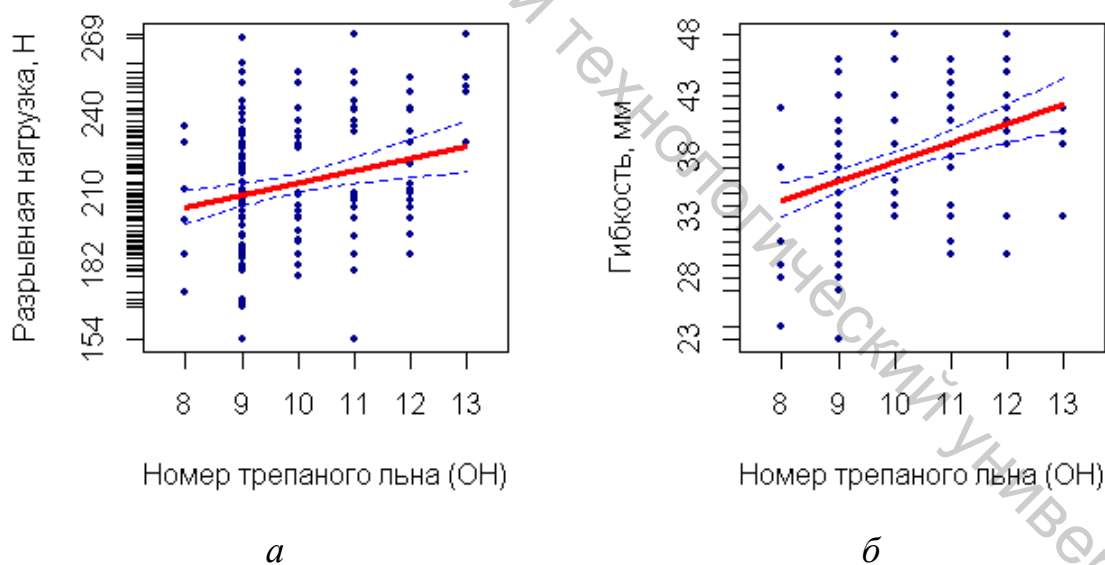


Рисунок 6 – Распределения физико-механических свойств длинного трепаного льноволокна по номерам, определенным согласно отраслевым нормам

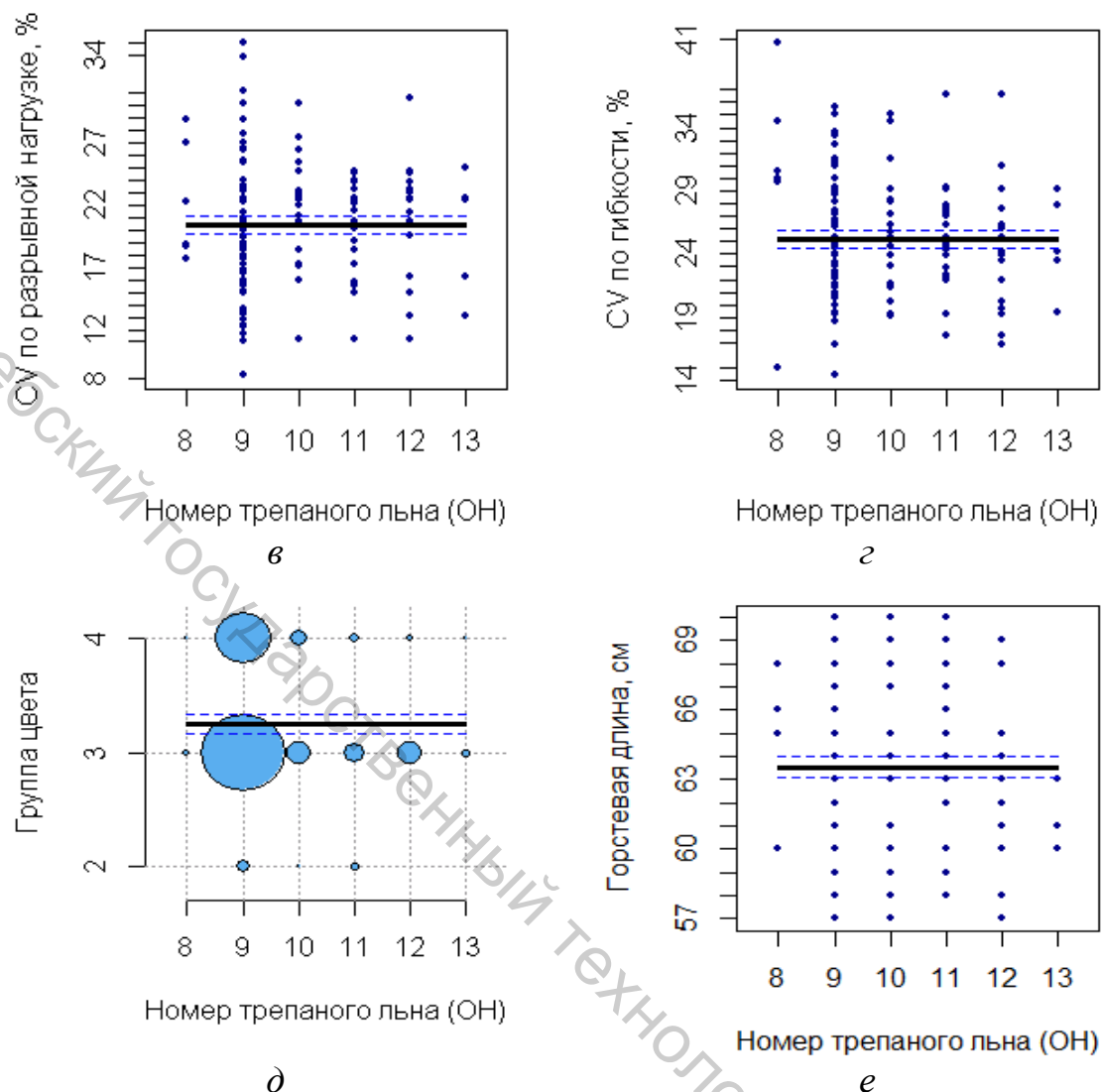


Рисунок 6 (продолжение) – Распределения физико-механических свойств длинного трепаного льноволокна по номерам, определенным согласно отраслевым нормам

Для анализа зависимостей физико-механических свойств длинного трепаного льноволокна от его номера, определенного согласно отраслевым нормам, были построены адекватные регрессионные модели со статистически значимыми регрессионными коэффициентами на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Линии тренда и 95 % доверительные пределы построенных моделей приведены на рисунке 6.

Регрессионная зависимость (рисунок 6 а) разрывной нагрузки от номера длинного трепаного льноволокна имеет вид:

$$P = 167.365 + 4.625 \cdot N_{\text{ОН}}, \quad (5)$$

где P – разрывная нагрузка длинного трепаного льноволокна, Н; $N_{\text{ОН}}$ – номер длинного трепаного льноволокна, определенный согласно отраслевым нормам.

Как видно из модели (5), при увеличении номера длинного трепаного льноволокна на 1 среднее значение разрывной нагрузки увеличивается на 4.625 Н. Коэффициент детерминации регрессионной модели (5) составляет $R^2 = 0.051$ ($p\text{-value} = 2.019 \cdot 10^{-3}$), что говорит о высокой вариативности распределения значений разрывной нагрузки.

Регрессионная зависимость (рисунок 6 б) гибкости от номера длинного трепаного льноволокна имеет вид:

$$F = 21.863 + 1.572 \cdot N_{\text{ОН}}, \quad (6)$$

где F – гибкости длинного трепаного льноволокна, мм; $N_{\text{ОН}}$ – номер длинного трепаного льноволокна, определенный согласно отраслевым нормам.

Как видно из модели (6), при увеличении номера длинного трепаного льноволокна на 1 среднее значение гибкости увеличивается на 1.572 мм. Коэффициент детерминации регрессионной модели (5) составляет $R^2 = 0.117$ ($p\text{-value} = 2.133 \cdot 10^{-6}$), что говорит о высокой вариативности распределения значений разрывной нагрузки.

Регрессионная зависимость (рисунок 6 в) коэффициента вариации по разрывной нагрузке от номера длинного трепаного льноволокна имеет вид:

$$CV_P = 20.428, \quad (7)$$

где CV_P – коэффициент вариации по разрывной нагрузке длинного трепаного льноволокна, %.

Регрессионная зависимость (рисунок 6 г) коэффициента вариации по гибкости от номера длинного трепаного льноволокна имеет вид:

$$CV_F = 25.143, \quad (8)$$

где CV_F – коэффициент вариации по гибкости длинного трепаного льноволокна, %.

Регрессионная зависимость (рисунок 6 д) группы цвета от номера длинного трепаного льноволокна имеет вид:

$$C = 3.247, \quad (9)$$

где C – группы цвета длинного трепаного льноволокна, %.

Регрессионная зависимость (рисунок 6 е) горстевой длины от номера длинного трепаного льноволокна имеет вид:

$$L = 63.533, \quad (10)$$

где L – горстевая длина длинного трепаного льноволокна, %.

Как видно из моделей (7) – (10), коэффициент вариации по разрывной нагрузке, коэффициент вариации по гибкости, группа цвета и горстевая длина не имеют статистически значимой (на уровне значимости $\alpha = 0,05$) взаимосвязи с номером длинного трепаного льноволокна, определенного согласно отраслевым нормам. При этом каждое из приведенных физико-механических свойств имеет статистически значимый средний уровень.

На основе изложенных результатов экспериментального исследования физико-механических и качественных характеристик длинного трепаного льноволокна, чесаного льноволокна и льняного очеса была предпринята попытка разработки новой методики оценки прядильной способности длинного трепаного льноволокна. Для устранения возможности компенсации низкого относительного уровня одного свойства высоким значением другого было принято решение о том, что методика должна представлять собой совокупность ограничений, накладываемых на каждое из физико-механических свойств.

С помощью методов компьютерного имитационного моделирования с использованием среды статистических вычислений R [6] были определены минимально допустимые значения физико-механических свойств для номеров длинного трепаного льноволокна с 8 по 13. В качестве изменяемых параметров использовались вероятности, используемые для построения доверительных пределов моделей (5) – (10).

В качестве целевой функции, максимизируемой при определении граничных значений физико-механических свойств, использовалась характеристика качества, показывающая долю прочесов, обеспечивающих качественные характеристики чесаного льноволокна и льняного очеса не ниже требований, заложенных в отраслевые нормы:

$$\frac{\sum_{N_{OH} \geq N_{HM}}^1}{n} \cdot 100 \rightarrow \max, \quad (11)$$

где N_{OH} – номер длинного трепаного льноволокна, определенный согласно отраслевым нормам; N_{HM} – номер длинного трепаного льноволокна, определенный согласно новой методике; n – общее количество прочёсов.

Минимально допустимые значения физико-механических свойств длинного трепаного льноволокна для номеров 8 – 13 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Минимально допустимые значения физико-механических свойств длинного трепаного льноволокна

N	Разрывная нагрузка, Н	Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	Гибкость, мм	Коэффициент вариации по гибкости, %	Длина, см	Группа цвета
8	178	37	32	36	57	2
9	183	37	33	36	57	2
10	188	37	35	36	57	2
11	192	37	37	36	57	2
12	197	37	38	36	57	2
13	201	37	40	36	57	2

Как видно из таблицы 1, свойства длинного трепаного льноволокна, не имеющие статистически значимой взаимосвязи с номером, определенным отраслевыми норм, (7) – (10) имеют постоянные значения.

Согласно таблице 1, был произведен перерасчет значений номеров длинного трепаного льноволокна. Совместное распределение номеров длинного трепаного льноволокна, определенных согласно таблице 1, и номеров согласно отраслевым нормам приведено на рисунке 7.

Как видно из рисунка 7, оценка качества, полученная по новой методике, в 56,1 % случаев обеспечивает качественные характеристики чесаного льноволокна и льняного очеса не ниже требований, заложенных в отраслевые нормы.

С использованием бутстреп метода [13, 14] в среде статистических вычислений R было получено вероятностное распределение характеристики качества (11) новой методики (рисунок 8).

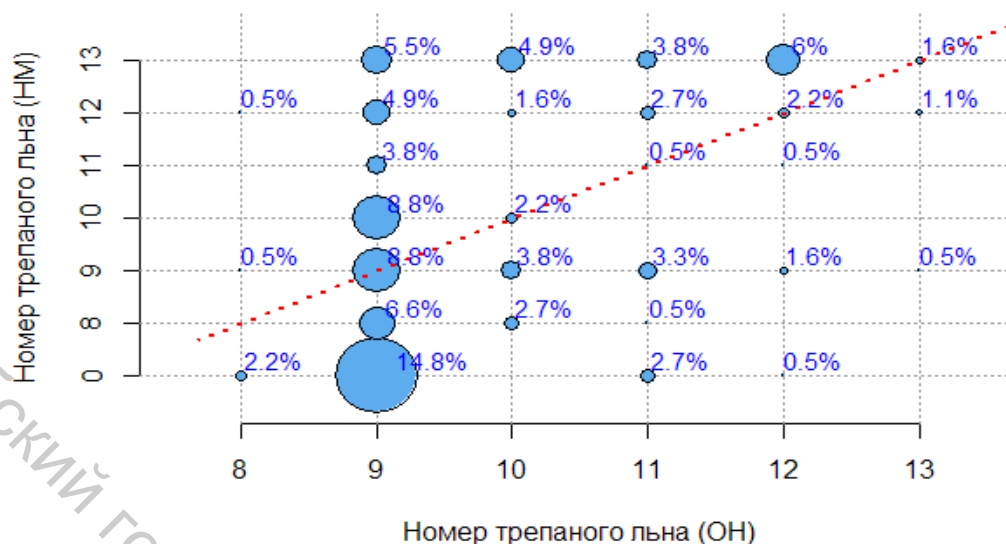


Рисунок 7 – Совместное распределение номеров длинного трепаного льноволокна, определенных по новой методике (НМ) и согласно отраслевым нормам (ОН)



Рисунок 8 – Распределение характеристики качества новой методики

В таблице 2 приведены процентиля распределения характеристики качества (11) новой методики [27 – 32], рассчитанные с помощью бутстреп метода.

Таблица 2 – Квантили распределения характеристики качества новой методики

2.5 %	5 %	25 %	50 %	75 %	95 %	97.5 %
48.351	50.549	53.846	57.142	59.340	62.637	63.736

Как видно из таблицы 2, с вероятностью в 95 % значение характеристики качества новой методики будет находиться в диапазоне 48.351 – 63.736 %, а с вероятностью 50 % – в диапазоне 53.846 – 59.340.

В случае несоответствия лабораторно определенного качества длинного трепаного, льноволокна заявленному номеру поставщик может либо согласиться с инструментально определенным номером, либо отозвать партию на пересортировку. В последнем случае необходимо знать, какие физико-механические свойства должны быть улучшены. Для этих целей была разработана методика сравнительной оценки физико-механических свойств длинного трепаного льноволокна основанная на статистическом аппарате анализа выживаемости [18 – 22]. В информационной системе контроля качества, на основе разработанной методики, был реализован модуль сравнительного анализа, базирующийся на методологии анализа выживаемости, и введено понятие частной функции качества для каждого из контролируемых свойств.

Для определения относительного положения значения выбранного свойства одного исследованного образца к совокупности значений всех обследованных образцов используется функция вида:

$$S(x) = 1 - CDF(x) = \int_x^{\infty} PDF(t) dt \approx \sum_{i: x_i \geq x} p_i = \frac{1}{n} \cdot k_{x_i \geq x}, \quad (12)$$

где x – значение свойства одного исследованного образца; $CDF(x)$ – кумулятивная функция распределения; $PDF(t)$ – функция плотности вероятности; p_i – вероятность, связанная со значением, удовлетворяющим условию $x_i \geq x$; n – количество исследованных образцов; k – количество образцов, удовлетворяющих условию $x_i \geq x$.

Функция (12) показывает, какой процент обследованных образцов обладает значениями выбранного свойства такими же или лучшими, чем значение у исследуемого образца, и может использоваться для свойств, большие значения которых предпочтительнее меньших, например: разрывная нагрузка, торцевая длина, гибкость и др.

Для свойств, меньшие значения которых предпочтительнее больших, например: заостренность, коэффициент вариации по разрывной нагрузке и др., используется кумулятивная функция распределения:

$$CDF(x) = \int_{-\infty}^x PDF(t) dt \approx \sum_{i: x_i \leq x} p_i = \frac{1}{n} \cdot k_{x_i \leq x}, \quad (13)$$

Частная функция качества вычисляется по формулам (12) или (13), и, для удобства использования в повседневном производственном контроле, может быть выражена в процентах.

Численное значение частной функции качества показывает, какое количество обследованных образцов обладает лучшим значением выбранного свойства. В информационной системе контроля качества РУПТП «Оршанский льнокомбинат» реализовано автоматическое вычисление значения частной функции качества для каждого исследуемого физико-механического свойства. Для использования частных функций качества вне информационной системы предлагается построить по формуле (12) графики частных функций качества для каждого физико-механического свойства и для каждого показателя качества (номера).

На рисунке 9 приведен график частной функции качества для разрывной нагрузки, гибкости, горстевой длины и группы цвета длинного трепаного льноволокна урожая 2013 – 2015 гг. Приведенный график рассчитан и построен с использованием языка статистической обработки данных R [6].



Рисунок 9 – Частная функция качества для разрывной нагрузки длинного трепаного льноволокна 10 номера, урожая 2013– 2015 годов

Графики частных функций качества могут быть использованы для проведения сравнительной оценки отдельной партии длинного трепаного льноволокна с льноволокном урожая предыдущих годов [33, 34, 35]. Проведя перпендикуляр к оси абсцисс в точке, соответствующей среднему значению выбранного свойства отдельной партии льноволокна, находят точку пересечения перпендикуляра с графиком частной функции качества, затем, проведя через эту точку линию, перпендикулярную оси ординат, можно найти значение частного показателя качества для выбранного образца. Так, например, для партии волокна 10 номера (рисунок 9), со средним значением разрывной

нагрузки 198 Н, значение частного показателя качества равняется 25 %, то есть 25 % образцов обладают значением разрывной нагрузки больше 198 Н.

Выводы

Применение современных информационных технологий позволяет оперативно в автоматизированном режиме проводить мероприятия по контролю качества перерабатываемого льноволокна в условиях крупномасштабного производства.

Внедрение в систему контроля качества льноволокна современных статистических методов анализа производственной статистики позволит не только оценивать качественные показатели, но и прогнозировать их.

Разработана новая методика оценки прядильной способности длинного трепаного льноволокна для номеров 8, 9, 10, 11, 12, 13. По результатам контрольных прочесов, проведенных в производственных условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат», новая методика обеспечила 56.1 % оценок качества длинного трепаного льноволокна, удовлетворяющих требованиям отраслевых норм, против 20.3 % у методики, утвержденной действующим стандартом.

Предложенная частная функция качества позволяет в случае рекламаций статистически обоснованно указывать на причины несоответствия исследуемой партии длинного трепаного волокна заявленному номеру.

Предложенная методика реализована в информационной системе контроля качества длинного трепаного льноволокна РУПТП «Оршанский льнокомбинат» и внедрена в производственный процесс предприятия.

Приведенные значения частной функции качества для свойств длинного трепаного льноволокна могут быть использованы при оценке и прогнозировании свойств длинного трепаного льноволокна.

ГЛАВА 2. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН ДЛЯ КОМПРЕССИОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В настоящей работе рассмотрены вопросы комплексного анализа и прогнозирования деформационных свойств трикотажных полотен, применяемых для изготовления компрессионных изделий для послеоперационной реабилитации больных раком молочной железы. Актуальность данной разработки обусловлена тем, что в Республике Беларусь этот вид рака в структуре женских онкологических заболеваний занимает первое место. В последние годы в нашей стране наблюдается тенденция роста данного заболевания и ежегодно выявляется более 3,5 тысяч новых случаев заболеваемости. Применение различных методов лечения самого рака (хирургического, химиотерапии, лучевой терапии, гормонотерапии) приводит к такому распространенному осложнению, как лимфатический отек (вторичная лимфедема) верхней конечности на стороне операции. Важным компонентом лечения лимфатических отеков является ношение специальных компрессионных изделий, задача которых – оказывать давление на руку в соответствии с заданными медицинскими требованиями величинами и распределением вдоль конечности.

В УО «Витебский государственный технологический университет» по заданию концерна «Беллегпром» в рамках отраслевой научно-технической программы «Инновационные технологии в легкой промышленности» разработана технология трикотажного компрессионного рукава для послеоперационной реабилитации больных раком молочной железы и освоено его производство на ОАО «Світанак» г. Жодино. Особенностью разработанной технологии является то, что для изготовления трикотажного компрессионного рукава медицинского назначения выбран раскройный способ производства с использованием оборудования для изготовления трикотажных полотен и изделий бельевого назначения, содержащих эластомерные нити, позволяющий изготавливать компрессионные изделия на имеющемся на предприятиях Республики Беларусь оборудовании без его модернизации. Раскройный способ предполагает сначала изготовление трикотажного полотна с заданными свойствами, а затем выкраивание из него детали изделия и последующее ее соединение продольным швом. Достоинством раскройного способа является универсальность: из одного и того же трикотажного полотна можно изготавливать изделия различных моделей и размеров.

В процессе ношения компрессионные изделия подвергаются значительным деформациям, поэтому оценке и прогнозированию

свойств компрессионного трикотажа при различных режимах деформирования необходимо уделять большое внимание. Следует отметить, что для компрессионных изделий, изготавливаемых раскройным способом, результаты исследований деформационных свойств трикотажного полотна являются исходными данными для проектирования изделия. Поскольку основной показатель компрессионных трикотажных изделий – давление, оказываемое на тело, зависит от нагрузок, возникающих в трикотаже при его растяжении до требуемого удлинения на теле, для кроеных изделий возникает проблема выбора режима испытаний полотен, в результате которых будут получены зависимости между распределенной нагрузкой и деформацией.

Наиболее часто при проектировании компрессионных изделий применяются зависимости между распределенной нагрузкой или напряжением трикотажа и относительной деформацией, получаемые при полуцикловых испытаниях полотен на растяжение (диаграммы растяжения) [1 – 5].

При установлении взаимосвязи между нагрузкой и удлинением трикотажного полотна по диаграммам растяжения, а также по результатам испытаний на многократное растяжение, где при завершении процесса нагрузки сразу следует разгрузка, не учитывается изменение нагрузки трикотажного полотна с течением времени при его постоянном удлинении. За сравнительно малое время растяжения образца трикотажного полотна до заданной величины удлинения успевают произойти лишь частичные изменения макро- и микроэлементов структуры трикотажа, поэтому напряженность нитей в отдельных участках элементарных звеньев оказывается разной. Вследствие этого после окончания растяжения начинаются процессы изменения конформации элементарных звеньев трикотажа, перемещения нитей из одних, более напряженных участков в другие, менее напряженные. В результате таких перемещений напряженность отдельных участков элементарных звеньев структуры трикотажного полотна выравнивается и напряжение в образце уменьшается, пока не наступит равновесное состояние [6, с. 42].

Исходя из особенностей назначения компрессионных изделий, трикотаж после надевания изделия на тело растягивается до заданного удлинения, зависящего от размеров изделия в свободном состоянии и размеров тела, и удлинение является условно постоянным в течение одного цикла ношения изделия. Таким образом, на практике имеет место режим релаксации напряжений при постоянной деформации материала. Вследствие релаксации напряжений в трикотажном полотне давление изделия не будет постоянным, а будет уменьшаться со

временем в течение носки. Для прогнозирования изменения компрессионных свойств с течением времени представляет интерес экспериментальное исследование и аналитическое описание деформационных свойств трикотажа с учетом фактора времени. При этом необходимо исследование процессов релаксации напряжений в трикотажном полотне при постоянном удлинении, определение равновесного значения напряжения трикотажа и его взаимосвязи с текущим значением напряжения, получаемым по диаграмме растяжения. Для этих целей представляет интерес анализ существующих теоретических подходов к исследованию деформационных свойств трикотажа.

В качестве объектов при проведении исследований использовались образцы кулирного эластомерного трикотажа. Технологические параметры исследуемых трикотажных полотен представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические параметры исследуемых трикотажных полотен

№ варианта	Базовое переплетение	Вид и линейная плотность сырья, текс	Длина нити в петле, мм	Число петельных столбиков на 10 см	Число петельных рядов на 10 см
1	кулирная гладь	х/б 16,5	3,2	170	280
		спандекс 8,0	1,2		
2	ластик 1+1	х/б 16,5	3,0	210	264
		спандекс 8,0	1,0		

Обоснование и выбор структуры модели прогнозирования деформационных свойств трикотажных полотен с эластомерными нитями

Для аналитического описания деформационных процессов текстильных материалов, в частности, трикотажа, широко используются подходы, используемые при изучении аналогичных явлений в полимерных материалах: моделирование на основе нелинейно-наследственной теории вязкоупругости [7 – 21], механическое моделирование [6, 22 – 23], а также использование эмпирических моделей.

При моделировании деформационных свойств трикотажного полотна для компрессионного рукава в данной работе предлагается

использовать обобщенную модель Максвелла [24, с. 47 – 48]. Данная модель позволяет приближенно моделировать релаксационные свойства материалов, при этом количество средних времен релаксации равно количеству элементов Максвелла в структуре обобщенной модели. Структура модели, в первую очередь, определяется характером релаксации напряжений в материале. Кобляков А.И. [6, с. 42 – 43, 125] отмечает, что для трикотажа типичным является эластический механизм деформации, связанный с изменением формы структурных элементов и степени их ориентации. Течение процесса релаксации напряжений в трикотаже, как и в других полимерных материалах, имеет экспоненциальный характер: быстрый спад сразу же по окончании растяжения с последующим резким замедлением падения напряжений и почти полным прекращением процесса через 1 – 2 ч. Рассматривая процесс релаксации деформаций, автор выделяет в общем спектре времен релаксации деформации три наиболее важные фазы: начальную – со временем релаксации до 2 – 5 с, вторую, замедленную – со временем релаксации до 2 – 4 ч и третью – с заторможенными процессами деформации, время релаксации которых исчисляется десятками, сотнями и тысячами часов. Для оценки релаксационных свойств трикотажа для компрессионных медицинских изделий представляют интерес составляющие, обусловленные быстропротекающими и замедленными процессами релаксации напряжений, поскольку их времена релаксации меньше времени одного цикла ношения изделия. Таким образом, механическая модель должна учитывать, как минимум, два времени релаксации. В этом случае обобщенная механическая модель Максвелла примет вид, показанный на рисунке 1.

Модель состоит из трех параллельно соединенных модельных элементов: двух элементов Максвелла ($E_{11} - \eta_1$ – элемент 1 и $E_{12} - \eta_2$ – элемент 2) и одного упругого элемента E_2 (элемент 3).

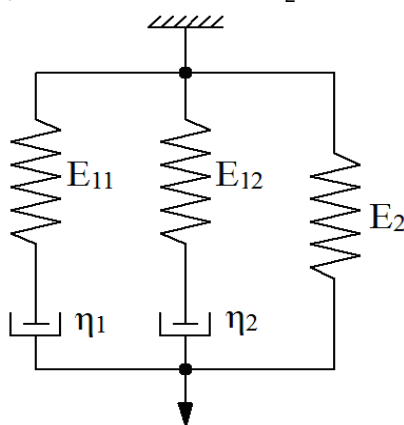
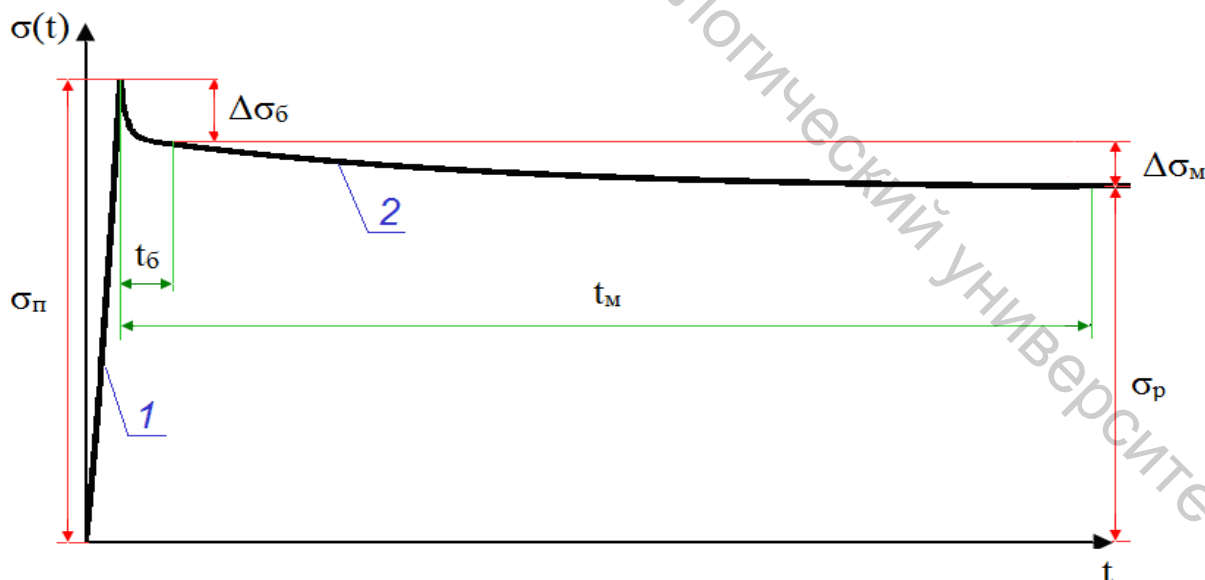


Рисунок 1 – Схема обобщенной механической модели, характеризующейся двумя средними временами релаксации

Проанализируем возможность применения выбранной механической модели для описания на качественном уровне процесса релаксации напряжений трикотажного полотна для изделия «компрессионный рукав». Экспериментальные исследования деформационных процессов трикотажного полотна предполагаются в двух режимах: растяжение с постоянной скоростью (получение диаграмм растяжения) и в режиме растяжения с постоянной скоростью до заданного удлинения, затем выдержки при заданном удлинении и последующей разгрузки (получение зависимостей релаксации напряжения от времени при постоянном удлинении). Если учитывать только средние времена быстропротекающих и замедленных процессов релаксации напряжений, то зависимость напряжения от времени при условиях растяжения трикотажа до заданного удлинения, а затем выдержки при заданном удлинении в течение некоторого времени будет иметь вид, показанный на рисунке 2. Значение полного напряжения в трикотаже σ_n , после остановки процесса растяжения при сохранении постоянной величины относительной деформации ε , в результате быстропротекающих процессов релаксации с течением некоторого времени t_{δ} уменьшится на величину $\Delta\sigma_{\delta}$, а затем, в результате замедленных процессов релаксации напряжений, в течение времени t_m уменьшится на величину $\Delta\sigma_m$ и напряжение станет равным равновесному значению σ_p . Таким образом, можно записать:

$$\sigma_n = \Delta\sigma_{\delta} + \Delta\sigma_m + \sigma_p. \quad (1)$$



1 – режим растяжения с постоянной скоростью нарастания деформации; 2 – режим релаксации деформаций при постоянном относительном удлинении.

Рисунок 2 – Обобщенная зависимость $\sigma(t)$

Для элемента 1 зависимость напряжения от времени при постоянном удлинении определяется выражением [6, с. 120]

$$\sigma_1(t) = \sigma_{01} e^{-\frac{E_{11}t}{\eta_1}} = \sigma_{01} e^{-\frac{t}{T_1}}, \quad (2)$$

где σ_{01} – начальное напряжение, зависимость которого от параметров механической модели E_{11} и η_1 будет показана ниже;

$T_1 = \frac{\eta_1}{E_{11}}$ – константа, характеризующая темп релаксации напряжения во времени.

Анализ соотношения (2) указывает на то, что напряжение элемента 1 в процессе релаксации изменяется от значения σ_{01} до 0, причем процесс релаксации практически прекращается при $t \approx 5T_1$ ($\sigma_1(5T_1) = \sigma_{01} e^{-5} \approx 0,0067 \sigma_{01}$).

Аналогичное выражение можно записать и для элемента 2:

$$\sigma_2(t) = \sigma_{02} e^{-\frac{E_{12}t}{\eta_2}} = \sigma_{02} e^{-\frac{t}{T_2}}. \quad (3)$$

Для элемента 3:

$$\sigma_3(t) = E_2 \varepsilon(t). \quad (4)$$

Для режима релаксации напряжений, когда $\varepsilon(t) = \text{const}$, напряжение σ_3 имеет постоянное значение в течение всего времени наблюдений.

Поскольку элементы 1, 2, 3 соединены параллельно, тогда

$$\sigma(t) = \sigma_1(t) + \sigma_2(t) + \sigma_3(t) = \sigma_{01} e^{-\frac{t}{T_1}} + \sigma_{02} e^{-\frac{t}{T_2}} + E_2 \varepsilon. \quad (5)$$

При выборе параметров модели, если принять $5T_1 \approx t_\delta$ и $5T_2 \approx t_m$, то элемент 1 может характеризовать быстропротекающие процессы релаксации напряжений и T_1 является средним временем релаксации быстропротекающих процессов, а элемент 2 – замедленные и T_2 является средним временем релаксации замедленных процессов. В этом случае $\Delta\sigma_\delta = \sigma_{01}$ и $\Delta\sigma_m = \sigma_{02}$. Элемент 3 может характеризовать равновесное состояние трикотажа: $\sigma_3 = \sigma_p$ и E_2 представляет собой равновесный модуль упругости трикотажа. Таким образом, в результате анализа механической модели с двумя средними временами релаксации установлено, что описание с помощью ее процессов релаксации напряжений трикотажного полотна для изделия «компрессионный

рукав» на *качественном* уровне возможно. Также следует отметить, что описание процесса релаксации напряжений на основе обобщенной механической модели с двумя средними временами позволяет четко разграничить время быстропротекающих и замедленных процессов, а также связать параметры механической модели с величинами, которые можно определить по кривой релаксации напряжений: $\Delta\sigma_0$, $\Delta\sigma_m$, t_0 и t_m .

Одной из трудностей при использовании механических моделей, в особенности, состоящих из большого числа элементов, является необходимость вывода дифференциального уравнения для каждого вида модели и его решения для каждого частного случая нагружения материала. Моделирование можно существенно упростить, если использовать для описания структуры, состоящей из упругих и вязких элементов, модель в виде передаточной функции. Понятие передаточной функции широко используется в теории автоматического управления для моделирования различных динамических объектов. Под передаточной функцией понимается отношение изображения выходной величины для объекта или устройства системы к изображению функции входной величины, полученные с помощью прямого преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях [25, с. 187 – 188]. При моделировании различных режимов нагружения одна из величин – нагрузка или деформация – является входной, то есть задаваемой (изменяемой по известному закону), другая – выходной – наблюдаемой, ее значение будет зависеть от входной величины. Представление математической модели в виде передаточной функции позволяет с помощью специальных программ динамического моделирования систем («VisSim», «Simulink» и др.) получать зависимости выходной величины от времени практически для любых режимов изменения входной величины. При этом если известны параметры модели, нет необходимости в решении дифференциальных уравнений для каждого режима изменения входной величины, а также не требуется проведение расчетов. Таким образом, представление математической модели изучаемого объекта в виде передаточной функции позволяет значительно упростить инженерные расчеты [26].

Определим передаточную функцию выбранной механической модели. Известно, что для упругого элемента связь между нагрузкой и деформацией имеет вид:

$$\sigma_E(t) = E \cdot \varepsilon(t), \quad (6)$$

для вязкого:

$$\sigma_\eta(t) = \eta \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt}. \quad (7)$$

Применив к данным выражениям преобразование Лапласа, получим:

$$\sigma_E(s) = E \cdot \varepsilon(s), \quad (8)$$

$$\sigma_\eta(s) = \eta \cdot s \cdot \varepsilon(s), \quad (9)$$

где s – оператор Лапласа.

Если принять за входную величину деформацию ε , а за выходную – напряжение σ , можно записать передаточные функции $W_{(\varepsilon\sigma)}(s)$ для упругого и вязкого элементов:

$$W_{(\varepsilon\sigma)E}(s) = \frac{\sigma_E(s)}{\varepsilon(s)} = E; \quad (10)$$

$$W_{(\varepsilon\sigma)\eta}(s) = \frac{\sigma_\eta(s)}{\varepsilon(s)} = \eta \cdot s. \quad (11)$$

Рассмотрим элемент 1. Звенья E_{11} и η_1 соединены последовательно, значит: $\sigma_{E_{11}} = \sigma_{\eta_1} = \sigma_1$ и $\varepsilon_{E_{11}} + \varepsilon_{\eta_1} = \varepsilon_1$. Следовательно, можно записать:

$$\frac{1}{W_{(\varepsilon\sigma)1}(s)} = \frac{1}{W_{(\varepsilon\sigma)E_{11}}(s)} + \frac{1}{W_{(\varepsilon\sigma)\eta_1}(s)}, \quad (12)$$

где $W_{(\varepsilon\sigma)1}(s)$ – эквивалентная передаточная функция последовательно соединенных элементов E_{11} и η_1 .

$$W_{(\varepsilon\sigma)1}(s) = \frac{\sigma_1(s)}{\varepsilon_1(s)} = \frac{\eta_1 s}{\frac{\eta_1}{E_{11}} s + 1}. \quad (13)$$

Аналогично запишем $W_{(\varepsilon\sigma)2}(s)$ – эквивалентную передаточную функцию последовательно соединенных элементов E_{12} и η_2 .

$$W_{(\varepsilon\sigma)2}(s) = \frac{\sigma_2(s)}{\varepsilon_2(s)} = \frac{\eta_2 s}{\frac{\eta_2}{E_{12}} s + 1}. \quad (14)$$

Передаточная функция для элемента 3:

$$W_{(\varepsilon\sigma)3}(s) = \frac{\sigma_3(s)}{\varepsilon_3(s)} = E_2. \quad (15)$$

Элементы 1, 2 и 3 соединены параллельно, значит передаточная функция, соответствующая рассматриваемой механической модели:

$$W_{(\varepsilon\sigma)}(s) = \frac{\sigma(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{\eta_1 s}{\frac{\eta_1}{E_{11}} s + 1} + \frac{\eta_2 s}{\frac{\eta_2}{E_{12}} s + 1} + E_2. \quad (16)$$

По передаточной функции можно записать дифференциальное уравнение модели [26, с. 187 – 188]:

$$\begin{aligned} \eta_1 \eta_2 \left(\frac{1}{E_{11}} + \frac{1}{E_{12}} + \frac{E_2}{E_{11} E_{12}} \right) \frac{d^2 \varepsilon(t)}{dt^2} + (\eta_1 + \eta_2 + E_2 \left(\frac{\eta_1}{E_{11}} + \frac{\eta_2}{E_{12}} \right)) \frac{d \varepsilon(t)}{dt} + E_2 \varepsilon(t) = \\ = \frac{\eta_1 \eta_2}{E_{11} E_{12}} \frac{d^2 \sigma(t)}{dt^2} + \left(\frac{\eta_1}{E_{11}} + \frac{\eta_2}{E_{12}} \right) \frac{d \sigma(t)}{dt} + \sigma(t). \end{aligned} \quad (17)$$

С использованием передаточной функции можно достаточно просто получить выражения, связывающие напряжение, деформацию и время для различных режимов деформирования. При постоянной скорости нарастания деформации

$$\varepsilon(t) = c \cdot t, \quad (18)$$

где c – скорость нарастания деформации.

Применив к последнему выражению преобразование Лапласа, получим:

$$\varepsilon(s) = L\{c \cdot t\} = \frac{c}{s^2}. \quad (19)$$

Тогда изображение напряжения:

$$\sigma(s) = W_{(\varepsilon\sigma)}(s) \cdot \varepsilon(s). \quad (20)$$

Для получения зависимости напряжения от времени необходимо применить обратное преобразование Лапласа:

$$\sigma(t) = L^{-1}\{W_{(\varepsilon\sigma)}(s) \cdot \varepsilon(s)\} = c\eta_1 \left(1 - e^{-t \frac{E_{11}}{\eta_1}} \right) + c\eta_2 \left(1 - e^{-t \frac{E_{12}}{\eta_2}} \right) + E_2 c t. \quad (21)$$

Подставим в выражение (21) $t = \frac{\varepsilon}{c}$:

$$\begin{aligned} \sigma(\varepsilon) &= c\eta_1 \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon E_{11}}{c\eta_1}} \right) + c\eta_2 \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon E_{12}}{c\eta_2}} \right) + E_2 \varepsilon = \\ &= c\eta_1 \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{cT_1}} \right) + c\eta_2 \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{cT_2}} \right) + E_2 \varepsilon. \end{aligned} \quad (22)$$

Найдем взаимосвязь параметров, входящих в выражение (22) с величинами, которые можно определить по кривой релаксации напряжения при условии растяжения трикотажа с постоянной скоростью до некоторого конечного значения удлинения ε_k и последующей выдержки при постоянном удлинении $\varepsilon = \varepsilon_k$ (рисунок 2).

По истечении времени растяжения $t = t_{\kappa} = \frac{\varepsilon_{\kappa}}{c}$ напряжение элемента 1 станет равным величине σ_{01} . По выражению (22) можно записать:

$$\sigma_{01} = \Delta\sigma_{\delta} = c\eta_1 \left(1 - e^{\frac{-\varepsilon_{\kappa}}{cT_1}} \right). \quad (23)$$

Аналогично:

$$\sigma_{02} = \Delta\sigma_{\text{м}} = c\eta_2 \left(1 - e^{\frac{-\varepsilon_{\kappa}}{cT_2}} \right). \quad (24)$$

Выражения (23), (24) показывают взаимосвязь величин $\Delta\sigma_{\delta}$, $\Delta\sigma_{\text{м}}$ с параметрами механической модели. Таким образом, если известна одна кривая релаксации напряжений при некотором $\varepsilon = \varepsilon_{\kappa}$, можно определить значения всех параметров механической модели для заданной деформации.

Идентификация параметров модели

С целью определения параметров механической модели для трикотажных полотен вариантов 1 и 2 были проведены экспериментальные исследования в режимах растяжения с постоянной скоростью нарастания удлинения и релаксации напряжения. Образцы трикотажа шириной 50 мм растягивались в направлении петельных рядов до заданного удлинения при скорости деформирования 100 мм/мин и зажимной длине образцов 100 мм. Экспериментальные исследования проводились на автоматизированном измерительном комплексе, состоящем из разрывной машины «Frank», персонального компьютера и электронного блока преобразования сигнала. Персональный компьютер оснащен специальным программным обеспечением, необходимым для получения оцифрованных данных эксперимента [27]. Массив выходных данных представляет собой набор значений времени и соответствующих им нагрузок и абсолютных удлинений.

Значение условного напряжения σ_i , Па вычислялось на основе постоянства объема испытуемого образца по следующей формуле:

$$\sigma_i = \frac{F_i \cdot (1 + \varepsilon_i)}{d \cdot h_0}, \quad (25)$$

где F_i – текущее значение нагрузки, Н; ε_i – текущее значение относительного удлинения; d – ширина образца, м; h_0 – начальная

толщина образца, м.

Кривые релаксации напряжения трикотажа вариантов 1 и 2 при постоянном удлинении $\varepsilon = 2$ и времени наблюдения процесса релаксации напряжения $t_n = 3600$ с представлены на рисунках 3 и 4. Оценка параметров механической модели (5) (таблица 2) осуществлялась по результатам проведенных экспериментов с использованием системы «Matlab» (пакет «Curve Fitting Toolbox»).

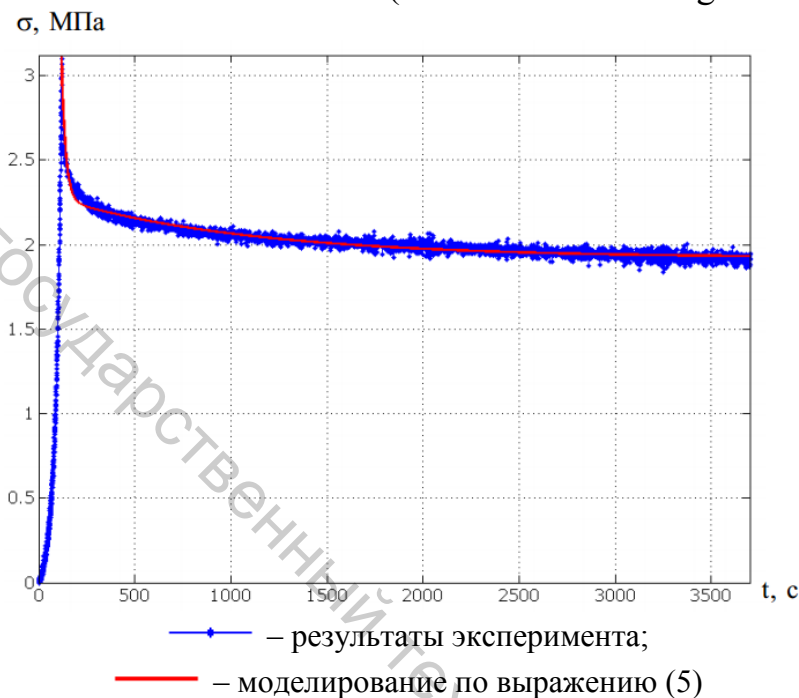


Рисунок 3 – Кривые релаксации напряжения трикотажного полотна варианта 1 при постоянном удлинении $\varepsilon = 2$



Рисунок 4 – Кривая релаксации напряжений трикотажного полотна варианта 2 при постоянном удлинении $\varepsilon = 2$

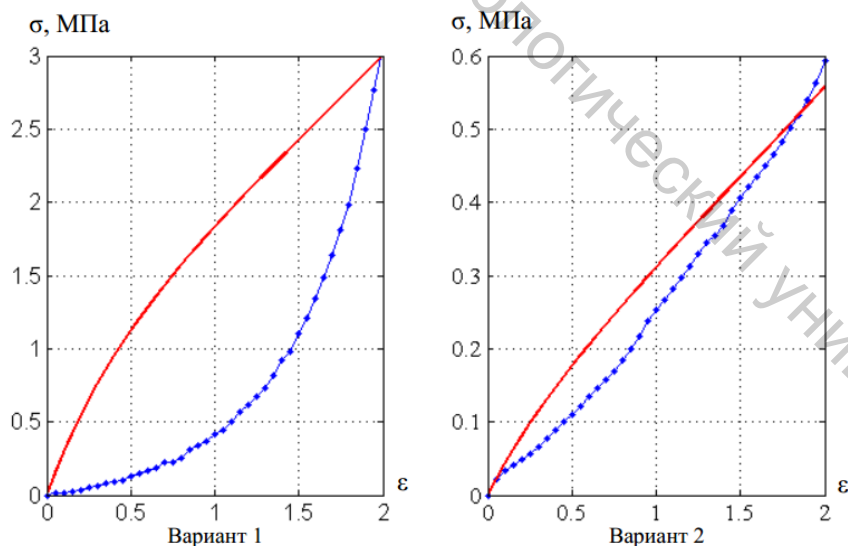
Таблица 2 – Результаты математического моделирования процесса релаксации напряжений по выражению (5)

Наименование исследуемых образцов	Средние значения параметров выражения (5)					Коэффициент детерминации модели R^2	η_1 , МПа·с	η_2 , МПа·с
	T_1 , с	T_2 , с	σ_{01} , МПа	σ_{02} , МПа	E_2 , МПа			
Вариант 1	22	1017	0,738	0,342	0,96	0,951	44,464	184,099
Вариант 2	20	1144	0,0983	0,066	0,211	0,952	4,084	40,699

Значения динамической вязкости η_1 и η_2 определялись с использованием выражений (23), (24).

Результаты математического моделирования показывают, что с использованием выбранной механической модели с двумя средними временами релаксации можно достоверно количественно описать процесс релаксации напряжения в трикотажном полотне для изделия компрессионный рукав при постоянном заданном значении деформации. Однако необходимо проверить возможность применимости выбранной модели с параметрами, представленными в таблице 2, для моделирования других режимов деформирования.

Параметры математической модели (5), представленные в таблице 2, подставлялись в выражение (22), в результате чего был получен двумерный массив координат диаграммы растяжения трикотажа. Для оценки соответствия результатов моделирования диаграмм растяжения экспериментальным данным построены зависимости, представленные на рисунке 5.



—•— экспериментальные данные; — результаты моделирования диаграмм растяжения по выражению (22) при значениях параметров модели, представленных в таблице 2

Рисунок 5 – Результаты моделирования диаграмм растяжения трикотажных полотен

Анализ результатов, представленных на рисунке 5, позволяет отметить, что диаграммы растяжения, полученные в результате моделирования по выражению (22) при параметрах механической модели, определенных по одной кривой релаксации напряжений, существенно отличаются от экспериментальных. Следовательно, можно предположить, что параметры выбранной механической модели *изменяются в процессе растяжения и зависят от величины удлинения* [28]. Необходимо отметить, что данное предположение согласуется с результатами, представленными в работе Кузнецова А.А. [29].

Определение зависимостей параметров механической модели от величины удлинения возможно при наличии экспериментальных кривых релаксации напряжения при различных величинах относительной деформации со временем наблюдения t_n , за которое заканчиваются быстропротекающие и замедленные процессы релаксации напряжения ($t_n \geq t_m \approx 5T_2$). Однако такие экспериментальные исследования требуют значительных временных затрат. В связи с этим целесообразно рассмотреть возможность определения параметров механической модели по результатам менее продолжительных испытаний.

Предполагается, что по мере увеличения относительной деформации изменяются как равновесное значение напряжения, равное $E_2\varepsilon$, так и релаксирующие составляющие напряжения $\sigma_{01} = \Delta\sigma_\sigma$ и $\sigma_{02} = \Delta\sigma_m$, причем анализ диаграмм растяжения, представленных на рисунке 5, показывает, что данные величины возрастают с увеличением относительной деформации. Примем, что в процессе растяжения параметры механической модели изменяются таким образом, что средние времена релаксации T_1 и T_2 являются постоянными и не зависят от величины деформации. Данное допущение, возможно, приведет к некоторому снижению достоверности модели, однако позволит четко определить условное время быстропротекающих и замедленных процессов релаксации напряжения. Как уже отмечалось, время быстропротекающих релаксационных процессов $t_\sigma \approx 5T_1$. Для исследуемых образцов трикотажа примем $t_\sigma = 100$ с. Следовательно, для определения зависимости $\sigma_{01}(\varepsilon)$ достаточно провести экспериментальные исследования в режиме релаксации напряжений при времени наблюдения $t_n = 100$ с при различных величинах относительной деформации.

Для образцов трикотажного полотна вариантов 1 и 2 были проведены экспериментальные исследования в режиме релаксации напряжения при величинах относительной деформации ε , равных 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2 и времени наблюдения $t_n = 100$ с.

Значение динамической вязкости при представлении релаксирующей части напряжения $\sigma_{01}(\varepsilon)$ в виде функции от относительной деформации согласно выражению (23):

$$\eta_1(\varepsilon) = \frac{\sigma_{01}(\varepsilon)}{c \cdot \left(1 - e^{\frac{-\varepsilon}{cT_1}}\right)}. \quad (26)$$

Средние значения определенных по результатам эксперимента составляющих напряжения $\sigma_{01}(\varepsilon)$ и расчетные величины соответствующих им значений динамической вязкости $\eta_1(\varepsilon)$ для задаваемых величин относительной деформации представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Экспериментальные данные составляющих напряжения $\sigma_{01}(\varepsilon)$ и расчетные значения динамической вязкости $\eta_1(\varepsilon)$ при различных величинах относительной деформации

ε	Экспериментальные данные составляющих $\sigma_{01}(\varepsilon)$, МПа		Расчетные значения $\eta_1(\varepsilon)$, МПа·с	
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2
0,25	0,00068	0,0017	0,082	0,19
0,5	0,031	0,0085	2,52	0,66
0,75	0,041	0,013	2,83	0,87
1	0,072	0,027	4,6	1,7
1,25	0,18	0,038	11,14	2,34
1,5	0,23	0,064	13,97	3,9
1,75	0,49	0,078	29,65	4,71
2	0,74	0,098	44,46	5,92

Для исследуемых образцов трикотажа определены математические зависимости $\eta_1(\varepsilon)$ [28], графическое представление результатов моделирования показано на рисунке 6:

- для трикотажа варианта 1:

$$\eta_{1(1)}(\varepsilon) = K_{\eta(1)} \cdot \varepsilon^3; \quad (27)$$

- для трикотажа варианта 2:

$$\eta_{1(2)}(\varepsilon) = K_{\eta(2)} \cdot \varepsilon^2; \quad (28)$$

где $K_{\eta(1)}$, $K_{\eta(2)}$ – темп нарастания динамической вязкости η_1 , МПа·с.

Средние значения темпов нарастания динамической вязкости и соответствующие величины коэффициента детерминации R^2 для трикотажных полотен вариантов 1 и 2 составляют: $K_{\eta(1)} = 5,337$ МПа·с ($R^2 = 0,988$); $K_{\eta(2)} = 1,55$ МПа·с ($R^2 = 0,989$).

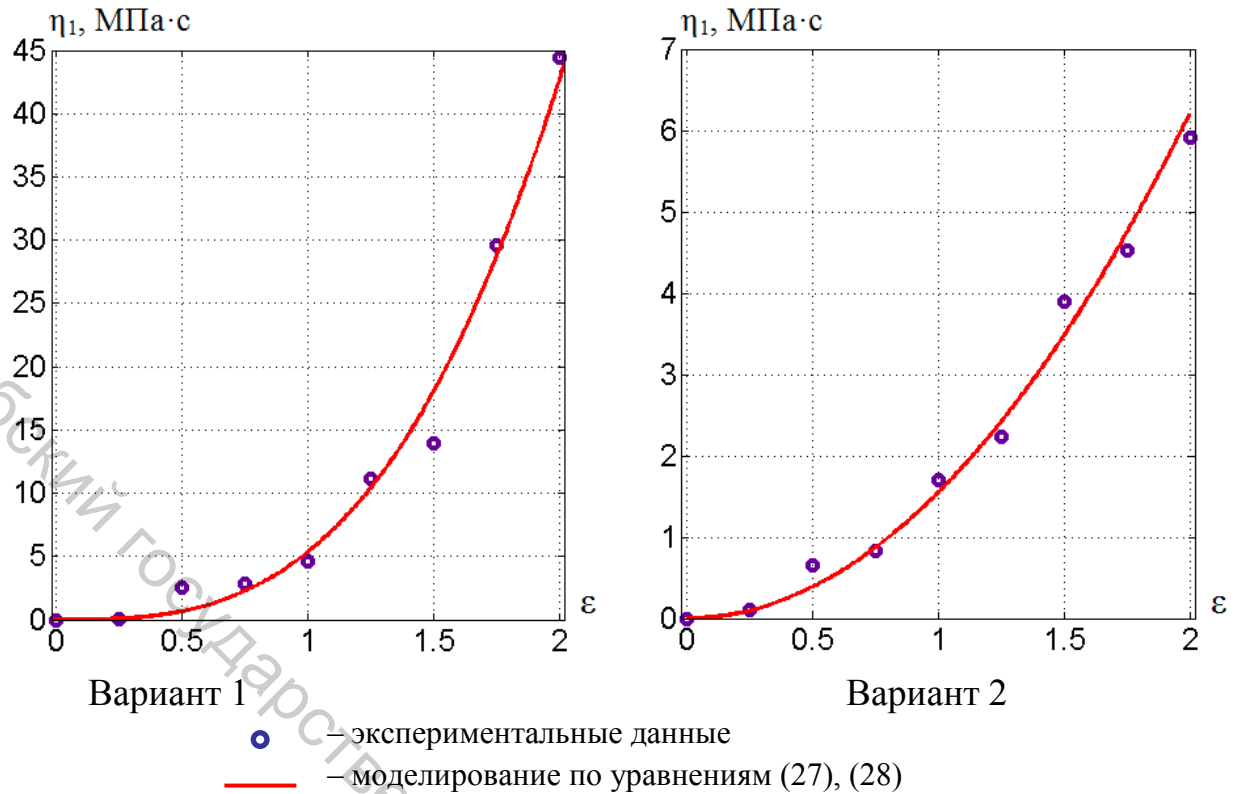


Рисунок 6 – Зависимости динамической вязкости η_1 от относительной деформации ε для трикотажных полотен вариантов 1 и 2

Предположив, что общий вид зависимости $\eta_1(\varepsilon)$ и $\eta_2(\varepsilon)$ идентичен, значения темпов нарастания динамической вязкости η_2 $K_{\eta_2(1)}$, $K_{\eta_2(2)}$:

$$K_{\eta_2(1)} = \frac{\sigma_{02(1)}(2) \cdot K_{\eta(1)} \cdot [1 - e^{\frac{-2}{cT_{1(1)}}}]}{\sigma_{01(1)}(2) \cdot [1 - e^{\frac{-2}{cT_{2(1)}}}]} = 22,097 \text{ МПа} \cdot \text{с}; \quad (29)$$

$$K_{\eta_2(2)} = \frac{\sigma_{02(2)}(2) \cdot K_{\eta(2)} \cdot [1 - e^{\frac{-2}{cT_{1(2)}}}]}{\sigma_{01(2)}(2) \cdot [1 - e^{\frac{-2}{cT_{2(2)}}}]} = 10,474 \text{ МПа} \cdot \text{с}. \quad (30)$$

С учетом того, что T_1 и $T_2 = \text{const}$, зависимости $E_{11}(\varepsilon)$ и $E_{12}(\varepsilon)$ имеют вид:

$$E_{11(1)}(\varepsilon) = \frac{K_{\eta(1)}}{T_{1(1)}} \cdot \varepsilon^3 = K_{E_{11(1)}} \cdot \varepsilon^3; \quad (31)$$

$$E_{11(2)}(\varepsilon) = \frac{K_{\eta(2)}}{T_{1(2)}} \cdot \varepsilon^2 = K_{E_{11(2)}} \cdot \varepsilon^2; \quad (32)$$

$$E_{12(1)}(\varepsilon) = \frac{K_{\eta_2(1)}}{T_{2(1)}} \cdot \varepsilon^3 = K_{E_{12}(1)} \cdot \varepsilon^3; \quad (33)$$

$$E_{12(2)}(\varepsilon) = \frac{K_{\eta_2(2)}}{T_{2(2)}} \cdot \varepsilon^2 = K_{E_{12}(2)} \cdot \varepsilon^2; \quad (34)$$

где $K_{E_{11}(1)} = 0,243 \text{ МПа}$; $K_{E_{11}(2)} = 0,0775 \text{ МПа}$; $K_{E_{12}(1)} = 0,0217 \text{ МПа}$; $K_{E_{12}(2)} = 0,00916 \text{ МПа}$ – темпы нарастания соответствующих модулей упругости.

С учетом того, что параметры механической модели E_{11} , E_{12} , η_1 , η_2 являются функциями деформации ε , выражение (22) принимает вид:

$$\begin{aligned} \sigma(\varepsilon) &= c \cdot \eta_1(\varepsilon) \left(1 - e^{-\frac{E_{11}(\varepsilon)}{c \cdot \eta_1(\varepsilon)}} \right) + c \cdot \eta_2(\varepsilon) \left(1 - e^{-\frac{E_{12}(\varepsilon)}{c \cdot \eta_2(\varepsilon)}} \right) + E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon = \\ &= c \cdot \eta_1(\varepsilon) \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{c T_1}} \right) + c \cdot \eta_2(\varepsilon) \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{c T_2}} \right) + E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon. \end{aligned} \quad (35)$$

Тогда зависимость составляющей напряжения $E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon$:

$$E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon = \sigma(\varepsilon) - c \cdot \eta_1(\varepsilon) \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{c T_1}} \right) - c \cdot \eta_2(\varepsilon) \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{c T_2}} \right). \quad (36)$$

Согласно выражению (36) на основе массива координат экспериментальных диаграмм растяжения $\sigma(\varepsilon)$ и экспериментально определенных параметров T_1 , T_2 и зависимостей $\eta_1(\varepsilon)$, $\eta_2(\varepsilon)$ сформирован массив координат $[\varepsilon; E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon]$. На рисунке 7 представлены графические зависимости составляющей напряжения $E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon$.

В результате математического моделирования установлен вид зависимости $E_2(\varepsilon)$:

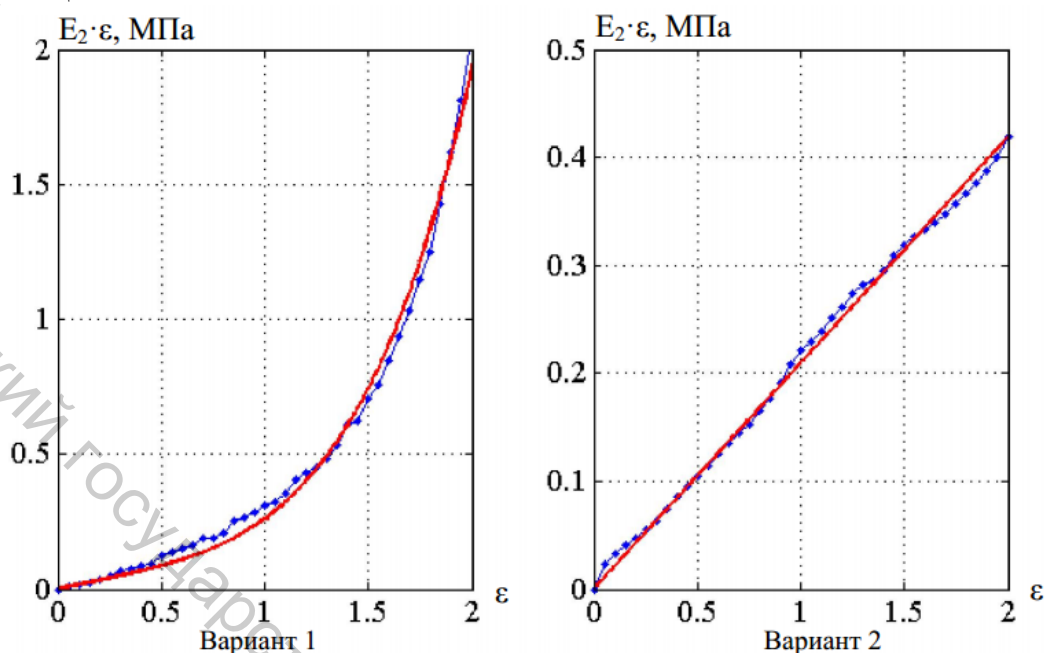
$$E_{2(1)}(\varepsilon) = E_{20(1)} + K_{E_2(1)} \cdot \varepsilon^3; \quad (37)$$

$$E_{2(2)}(\varepsilon) = E_{20(2)}, \quad (38)$$

где $E_{20(1)}$ и $E_{20(2)}$ – начальные значения модуля упругости E_2 для исследуемых образцов трикотажных полотен, МПа; $K_{E_2(1)}$ – темп нарастания модуля упругости E_2 трикотажного полотна варианта 1, МПа.

Получены следующие численные значения параметров и коэффициентов детерминации моделей R^2 : $E_{20(1)} = 0,161 \text{ МПа}$, $K_{E_2(1)} = 0,1 \text{ МПа}$ ($R^2 = 0,992$); $E_{20(2)} = 0,21 \text{ МПа}$ ($R^2 = 0,996$). Следует отметить, что для трикотажа варианта 2 модуль упругости

механической модели E_2 постоянен в исследуемом диапазоне деформации.



— — зависимости, построенные по выражению (36) на основе экспериментальных диаграмм растяжения;
 — — результаты моделирования с использованием выражений (37) (вариант 1) и (38) (вариант 2)

Рисунок 7 – Зависимость составляющей напряжения $E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon$ от деформации

С учетом переменных параметров модели зависимость напряжения в режиме релаксации напряжений от деформации и времени имеет вид:

$$\sigma(t, \varepsilon) = c \cdot \eta_1(\varepsilon) \left(1 - e^{\frac{-\varepsilon}{cT_1}} \right) e^{\frac{t}{T_1}} + c \cdot \eta_2(\varepsilon) \left(1 - e^{\frac{-\varepsilon}{cT_2}} \right) e^{\frac{t}{T_2}} + E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon. \quad (39)$$

Таким образом, методику идентификации параметров обобщенной механической модели с двумя временами релаксации можно сформулировать следующим образом.

1. Провести испытания исследуемых образцов в режиме релаксации напряжения при постоянной относительной деформации ε_k со временем наблюдения, соизмеримым со временем окончания замедленных процессов релаксации; по результатам испытаний сформировать массив координат кривой релаксации напряжения $[\sigma, t]$. Для снижения погрешности определения параметров модели величину ε_k целесообразно принять максимальной в исследуемом диапазоне деформаций.

2. Провести испытания исследуемых образцов в режиме растяжения с постоянной скоростью нарастания удлинения и сформировать массив координат диаграммы растяжения $[\sigma, \varepsilon]$.

3. По полученной кривой релаксации напряжения п. 1 оценить средние времена релаксации T_1 , T_2 , а также величины релаксирующих составляющих напряжения σ_{01} , σ_{02} и величину равновесного модуля упругости E_2 с использованием выражения (5).

4. Принять T_1 , T_2 постоянными, то есть не зависящими от величины деформации. Провести испытания исследуемых образцов в режиме релаксации напряжения при различных величинах относительной деформации в исследуемом диапазоне со временем наблюдения $t_n = t_o \approx 5T_1$. По полученным данным произвести оценку $\sigma_{01}(\varepsilon)$ и согласно соотношению (26) сформировать массив значений $[\eta_1; \varepsilon]$.

5. По полученным данным определить вид уравнения и параметр K_{η_1} модели $\eta_1(\varepsilon)$.

6. Принять вид уравнения $\eta_2(\varepsilon)$ идентичным уравнению $\eta_1(\varepsilon)$; с использованием значения $\sigma_{02}(\varepsilon_k)$, определенного по п. 3, вычислить параметр K_{η_2} модели $\eta_2(\varepsilon)$.

7. По экспериментальной диаграмме растяжения $\sigma(\varepsilon)$ и известным зависимостям $\eta_1(\varepsilon)$, $\eta_2(\varepsilon)$ сформировать согласно соотношению (36) массив значений $[E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon; \varepsilon]$; по полученным данным определить вид уравнения и параметры модели $E_2(\varepsilon)$.

Следует отметить, что используемая методика идентификации параметров механической модели требует наличия только одной кривой релаксации напряжений с относительно большим временем наблюдений, что позволяет существенно сократить время испытаний.

Экспериментальные исследования и моделирование процессов релаксации напряжений

Для оценки возможности применения выбранной механической модели с учетом переменных параметров для количественного описания и прогнозирования релаксационных свойств исследуемых трикотажных полотен были проведены экспериментальные исследования в режиме релаксации напряжения при величинах относительного удлинения ε_k , равных 0,5; 1; 1,5; 2 и времени наблюдения $t_n = 3600$ с (рисунок 9) [28]. Для моделирования релаксационных процессов при указанных величинах деформации

использовалось представление модели в виде передаточной функции с переменными коэффициентами. С учетом зависимости параметров механической модели от деформации выражение (16) принимает вид:

$$W_{(\varepsilon\sigma)}(s) = \frac{\sigma(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{\eta_1(\varepsilon)s}{\frac{\eta_1(\varepsilon)}{E_{11}(\varepsilon)}s + 1} + \frac{\eta_2(\varepsilon)s}{\frac{\eta_2(\varepsilon)}{E_{12}(\varepsilon)}s + 1} + E_2(\varepsilon) = \frac{\eta_1(\varepsilon)s}{T_1s + 1} + \frac{\eta_2(\varepsilon)s}{T_2s + 1} + E_2(\varepsilon). \quad (40)$$

Согласно правилам получения эквивалентных передаточных функций соединения элементов [25, с. 208], систему, имеющую передаточную функцию вида (40) можно представить структурной схемой, представленной на рисунке 1. Структурная схема на рисунке 8 состоит из двух блоков передаточных функций с постоянными параметрами $\frac{s}{T_1s + 1}$; $\frac{s}{T_2s + 1}$ и блоков, реализующих переменные коэффициенты передачи $\eta_1(\varepsilon)$, $\eta_2(\varepsilon)$, $E_2(\varepsilon)$. Такое представление механической модели позволило реализовать в системе «Simulink» визуальные динамические модели прогнозирования деформационных свойств трикотажных полотен вариантов 1 и 2.

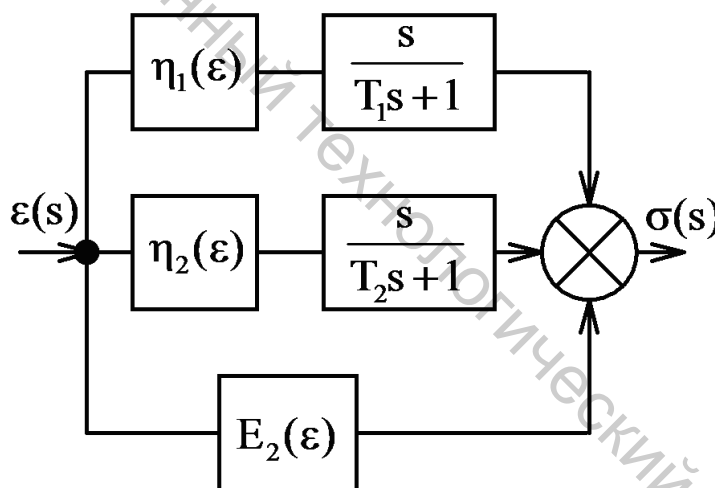


Рисунок 8 – Структурная схема механической модели при ее представлении в виде передаточной функции с переменными параметрами

На рисунке 9 представлены результаты экспериментальных исследований процессов релаксации напряжений и результаты моделирования в системе «Simulink» для трикотажных полотен вариантов 1 и 2. На рисунке 10 представлены диаграммы растяжения, полученные экспериментальным путем, и результаты моделирования в системе «Simulink» процесса растяжения трикотажных полотен с постоянной скоростью нарастания удлинения.

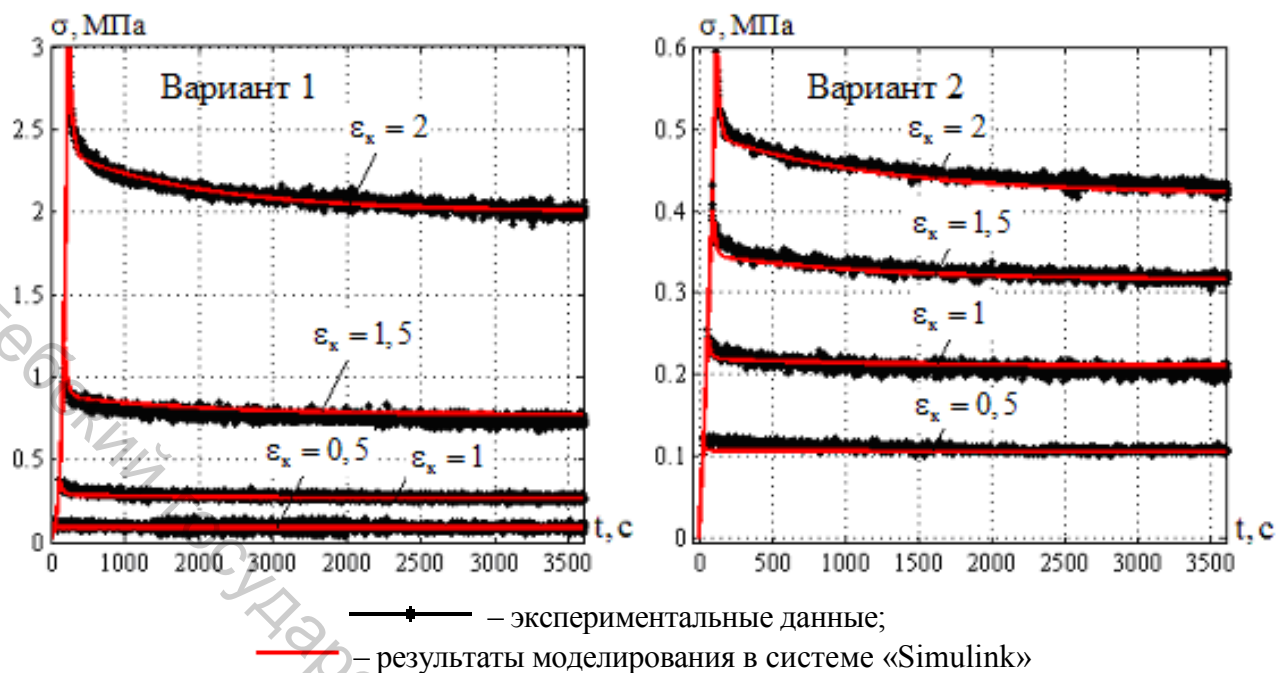


Рисунок 9 – Экспериментальные данные и результаты моделирования процессов релаксации напряжений для трикотажных полотен

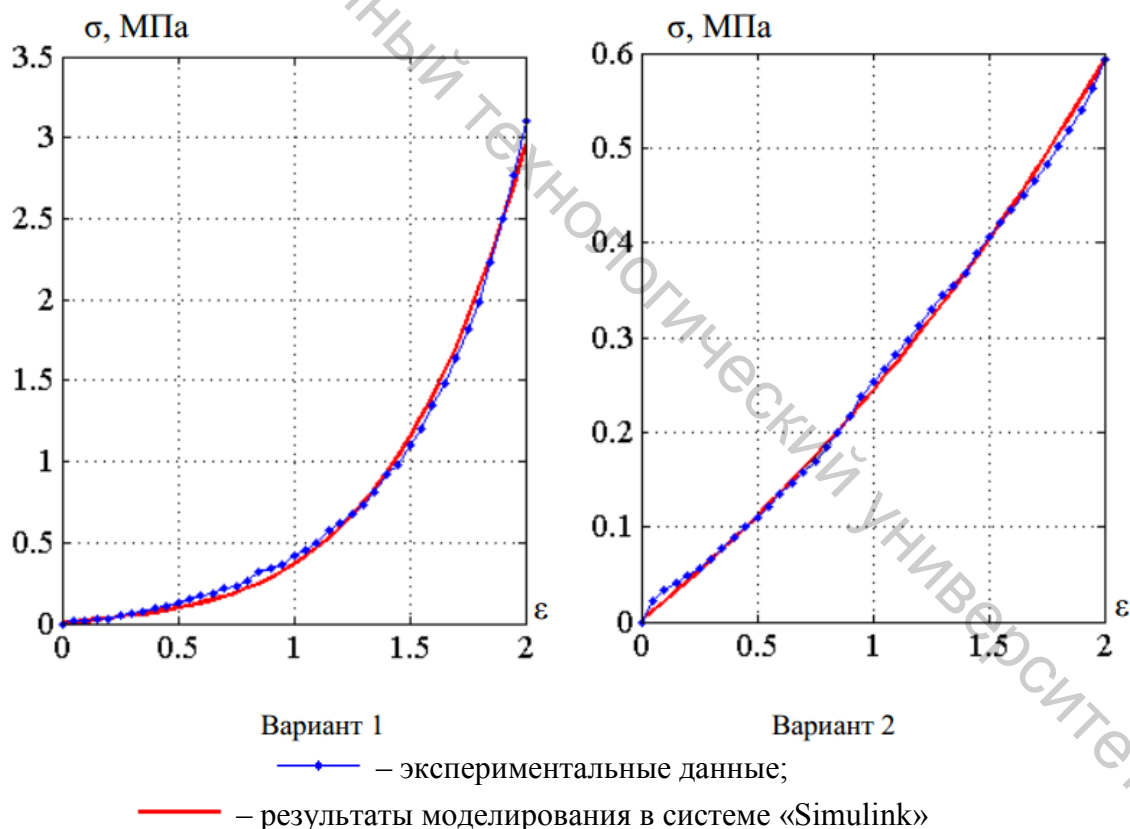


Рисунок 10 – Диаграммы растяжения трикотажных полотен вдоль петельных рядов

Как уже отмечалось, для компрессионных медицинских изделий

практический интерес вызывает прогнозирование равновесного значения напряжения трикотажа и его зависимость от величины относительного удлинения. Равновесное напряжение можно определить из выражения

$$\sigma_p(\varepsilon) = \lim_{t \rightarrow \infty} \sigma(t, \varepsilon) = E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon. \quad (41)$$

Таким образом, графические зависимости равновесного значения напряжения исследуемых вариантов трикотажа от относительной деформации показаны на рисунке 7.

С учетом выражений (39) и (41) можно записать аналитическую зависимость коэффициента относительного уменьшения напряжения от деформации K_p , который показывает, во сколько раз уменьшается напряжение в трикотаже вследствие релаксации по сравнению с текущим значением напряжения, которое можно определить по диаграмме растяжения:

$$K_p(\varepsilon) = 1 + \frac{c \cdot \eta_1(\varepsilon) \left(1 - e^{\frac{-\varepsilon}{cT_1}}\right) + c \cdot \eta_2(\varepsilon) \left(1 - e^{\frac{-\varepsilon}{cT_2}}\right)}{E_2(\varepsilon) \cdot \varepsilon}. \quad (42)$$

Графические зависимости $K_p(\varepsilon)$ для исследуемых вариантов трикотажа представлены на рисунке 11. Коэффициент относительного уменьшения напряжения для трикотажного полотна варианта 2 по сравнению с данным показателем для трикотажного полотна варианта 1 меньше практически во всем исследуемом диапазоне напряжений.

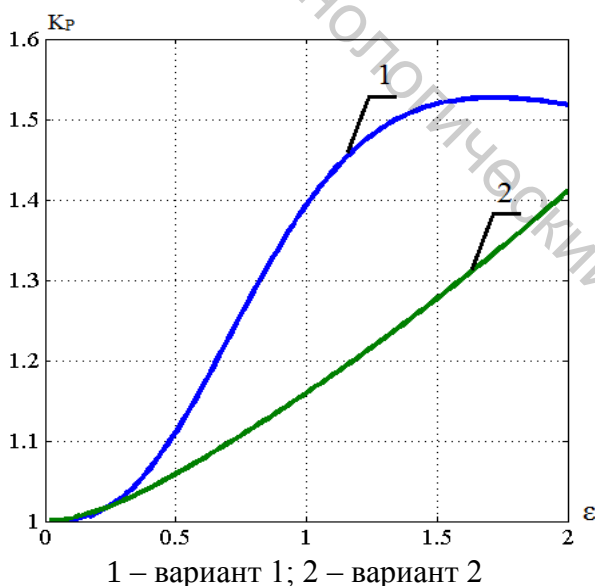


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента относительного уменьшения напряжения от относительной деформации для трикотажных полотен вариантов 1 и 2

Сравнение экспериментальных данных и результатов

моделирования, представленных на рисунках 9, 10, подтверждает, что использование обобщенной механической модели Максвелла с двумя временами релаксации с учетом зависимостей ее параметров от относительного удлинения, определенных по используемой методике, позволяет достоверно моделировать процессы релаксации напряжений, а также режим растяжения с постоянной скоростью нарастания относительного удлинения трикотажных полотен для компрессионного рукава. Представление модели в виде передаточной функции с переменными параметрами позволяет с использованием специализированного программного обеспечения реализовать визуальную динамическую модель, что приводит к существенному сокращению трудоемкости моделирования. Использование данной модели также позволяет прогнозировать равновесное значение напряжения и коэффициент относительного уменьшения напряжения при заданной относительной деформации.

Выводы

1. Предложено использование для моделирования деформационных свойств трикотажного полотна с эластомерными нитями механической модели Максвелла с двумя средними временами релаксации, отличающейся тем, что параметры модели изменяются в процессе растяжения и зависят от величины удлинения. С целью снижения временных затрат на моделирование выбран способ представления модели в виде передаточной функции.

2. Разработана методика идентификации параметров выбранной модели, отличающаяся тем, что предполагает наличие только одной кривой релаксации напряжений с относительно большим временем наблюдений, это позволяет существенно сократить время испытаний.

3. Проведены экспериментальные исследования двух вариантов трикотажных полотен в режиме релаксации напряжения при различных постоянных величинах относительного удлинения и времени наблюдения $t_n = 3600 \text{ с}$. Для моделирования процессов релаксации напряжений разработана структурная схема механической модели, содержащая передаточные функции с переменными параметрами, что позволило реализовать в системе «Simulink» визуальные динамические модели для трикотажа вариантов 1 и 2. При сравнении экспериментальных данных и результатов моделирования в системе «Simulink» установлено, что использование обобщенной механической модели Максвелла с двумя временами релаксации и учетом зависимостей ее параметров от относительного удлинения, определенных по предложенной методике, позволяет достоверно моделировать процессы релаксации напряжений, а также режим

растяжения с постоянной скоростью нарастания относительного удлинения разработанных трикотажных полотен.

4. Получены зависимости равновесного значения напряжения от относительного удлинения. В качестве величины, характеризующей, во сколько раз уменьшается напряжение в трикотаже вследствие релаксации по сравнению с текущим значением напряжения, определяемым по диаграмме растяжения, введен коэффициент относительного уменьшения напряжения. Путем математического моделирования установлено, что указанный коэффициент для трикотажного полотна варианта 2 меньше по сравнению с тем же показателем для трикотажного полотна варианта 1 практически во всем исследуемом диапазоне напряжений.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГРЕБЕННОЙ И ПОЛУГРЕБЕННОЙ ПРЯЖИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДНЕВОЛОКНИСТОГО ХЛОПКА

Вместе с динамическими изменениями мировой экономики меняется и рынок хлопка, а также роль и значение хлопкового сырья. Несмотря на увеличение выпуска пряжи из химических волокон, хлопок по-прежнему остается наиболее важным и востребованным натуральным волокном при производстве текстильных изделий.

Практически весь объем производимого в мире хлопка можно отнести к разряду средневолокнистого. В настоящее время всего 3 – 4 % от общего мирового объема производства составляет длиноволокнистый хлопок. Это связано с особенностями почвы и климатическими условиями, необходимыми для его успешного выращивания. Ведущими производителями длиноволокнистого хлопка являются Египет и США, за которыми следуют Индия и Китай. Кроме этих стран производством длиноволокнистого хлопка занимаются Израиль, Перу, Судан, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан и ряд других стран, но в очень малых объемах. В качестве основных потребителей длиноволокнистого хлопка выступает Египет (39 % от общей переработки длиноволокнистого хлопка), Индия (33 %), Китай (11 %), США (9 %) и Япония (5 %). Для сравнения: Узбекистан производит 2,2 % от общего объема производства, а перерабатывает лишь 1,9 % от общего объема потребления длиноволокнистого хлопка [1].

С начала 90-х годов прошлого века совокупное производство длиноволокнистых селекционных сортов хлопчатника постоянно снижается. В результате доля СНГ в мировых поставках длиноволокнистого хлопка сократилась с 30 % до менее, чем 5 %. Эта тенденция прослеживается и в настоящее время [2].

Таким образом, замена хлопка длиноволокнистых сортов на средневолокнистые селекционные сорта при производстве пряжи для тканей и трикотажных изделий является весьма актуальной задачей, стоящей перед текстильными предприятиями во всем мире, в том числе и для Республики Беларусь.

Одним из приоритетных направлений развития текстильной промышленности Республики Беларусь является импортозамещение гребенной хлопчатобумажной пряжи для производства тканей и трикотажных изделий широкого ассортимента. Повышение качества пряжи до уровня мировых стандартов, расширение и обновление ассортимента пряжи является одним из условий эффективной работы отечественных текстильных предприятий. Конкуренция со стороны

товаров из России, Средней Азии, Турции и Китая требует от текстильных предприятий разработки нового ассортимента высококачественных изделий, способных конкурировать с зарубежными товарами.

В Республике Беларусь хлопкопрядильными предприятиями гребенная пряжа малой и средней линейной плотности выпускается в ограниченном объеме. Это связано с ее высокой ценой за счет использования дорогостоящего длинноволокнистого хлопка. Кроме того, уровень качества выпускаемой пряжи не всегда соответствует современным требованиям, предъявляемым к текстильным товарам. В связи с этим белорусские трикотажные и ткацкие фабрики вынуждены импортировать пряжу данного ассортимента из-за рубежа.

Гребенная хлопчатобумажная пряжа традиционно имеет устойчивый и высокий спрос не только на отечественных текстильных предприятиях, но и за рубежом, где используется для выпуска высококачественного ассортимента изделий. Оборудование, установленное в последние годы на хлопкопрядильных фабриках Республики Беларусь в процессе комплексной модернизации и перевооружения предприятий текстильной промышленности, позволяет по своим техническим характеристикам получать гребенную пряжу высокого качества из средневолокнистого хлопка.

Следовательно, разработка новых технологических процессов получения хлопчатобумажной пряжи с использованием средневолокнистого хлопка позволит значительно увеличить объемы выпускаемой пряжи, расширить ее ассортимент и повысить качество в соответствии с требованиями международных стандартов.

Для получения гребенной и полугребенной пряжи в производственных условиях ОАО «Гронитекс» разработаны технологические процессы получения пряжи по гребенной системе прядения из средневолокнистого хлопка и по полугребенной системе прядения из средне- и длинноволокнистого хлопка на новом технологическом оборудовании фирм Rieter (Швейцария) и Zinser (Германия).

Целью проводимых исследований являлось получение гребенной и полугребенной пряжи из средневолокнистого хлопка с физико-механическими свойствами, приближенными к гребенной пряже из длинноволокнистого хлопка.

Схема технологического процесса получения гребенной хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 11,8 – 29 текс из средневолокнистого хлопка приведена на рисунке 1 [3 – 7].

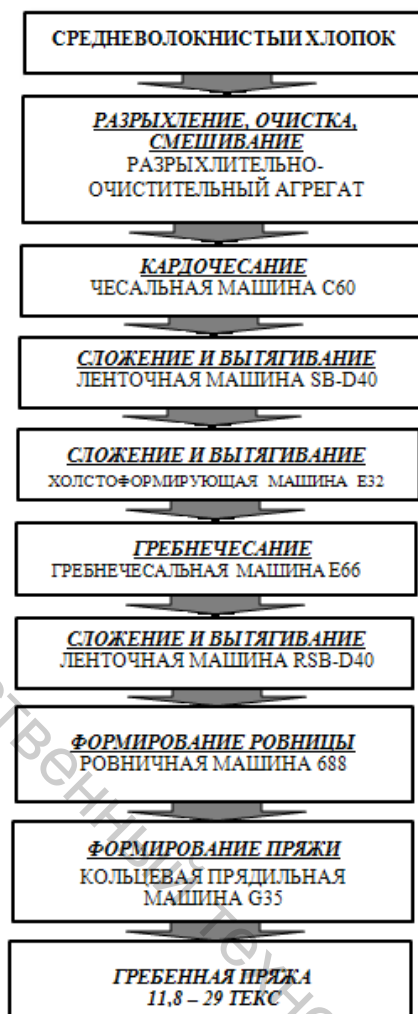


Рисунок 1 – Схема технологического процесса получения гребенной пряжи

Основным преимуществом данной технологии является более низкая себестоимость пряжи, которая достигается за счет использования менее дорогостоящего средневолокнистого хлопка вместо длиноволокнистого и использования прогрессивного технологического оборудования, что позволило сократить количество ленточных переходов. Сокращение одного из ленточных переходов после гребнечесания стало возможным за счет: использования вместо лентосоединительных машин холстоформирующих Unilap E32, на которых установлены вытяжные приборы, что позволило увеличить число сложений с 24 до 28 и повысить распрямленность волокон в холстике с 0,7 до 0,8; использования гребнечесальных машин E66, на которых увеличено число сложений с 4 до 8 и мощность вытяжного прибора с 9 до 19, что стало возможно за счет использования двухзонного вытяжного прибора вместо однозонного; использования

после гребнечесания ленточных машин с авторегулятором вытяжки; оптимизации параметров работы технологического оборудования по всем переходам.

Для ряда изделий при условии более низкой цены на пряжу необходимо обеспечить высокую разрывную нагрузку, сопоставимую с разрывной нагрузкой пряжи из длиноволокнистого хлопка.

С этой целью разработан технологический процесс получения полугребенной хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 9,5 – 16,5 текс из средне- и длиноволокнистого хлопка, схема которого приведена на рисунке 2 [8 – 12].

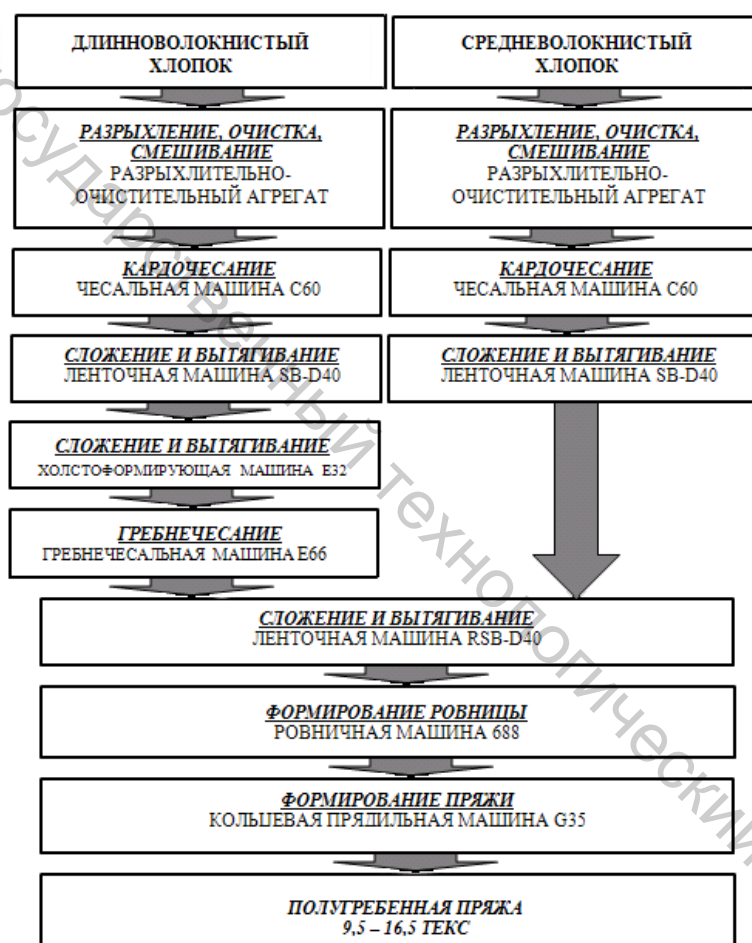


Рисунок 2 – Схема технологического процесса получения полугребенной пряжи

Такая пряжа содержит в структуре средне- и длиноволокнистый хлопок.

По традиционной гребенной системе прядения хлопка пряжа линейной плотности 5 – 16,5 текс чаще всего вырабатывается из 100 % длиноволокнистого хлопка следующих типов 1а, 1б, 1, 2 и 3 [13].

В разработанной технологии полугребенного прядения для получения пряжи той же линейной плотности и назначения возможно использование средневолокнистого хлопка 4 и 5 типов.

Данная технология позволяет получать пряжу, предназначенную для тканей технического назначения и спецодежды, где необходима высокая прочность изделия, а показатели неровноты менее значимы. Новизна разработанного технологического процесса подтверждена патентом на изобретение Республики Беларусь № 16354 [12].

Представленная технология подразумевает отдельную подготовку лент по кардной и гребенной системам прядения. Соединение кардных лент из средневолокнистого хлопка и гребенных лент из длинноволокнистого хлопка осуществляется на ленточных машинах RSB–D40 после гребнечесания.

Преимуществом технологии является то, что она позволяет снизить себестоимость полугребенной пряжи до 10 % за счет того, что этапы подготовки к гребнечесанию и гребнечесание проходит только длинноволокнистый хлопок, что позволяет высвободить часть технологического оборудования (часть ленточных, холстоформирующих и гребнечесальных машин); для получения полугребенной пряжи используется часть менее дорогостоящего средневолокнистого хлопка; увеличивается выход пряжи из смеси с 75,5 % до 81,6 % и сокращается количество отходов с 24,5 % до 18,4 % [9, 10, 11].

Известно, что основными факторами, определяющими качество пряжи, являются, прежде всего, качество волокна, то есть его прочность, длина и тонины, а также технологический процесс ее производства [14].

Выбор сырья в типовую сортировку для выработки пряжи заданной линейной плотности производят в зависимости от ее назначения, системы и способа прядения. Задача проектирования состава сортировки заключается в том, чтобы выбрать такую сортировку и такой технологический процесс на фабрике, чтобы при минимальных затратах на сырье и обработку вырабатывать пряжу, соответствующую стандарту [15].

Необходимо иметь в виду, что стоимость сырья в себестоимости пряжи составляет около 70 – 75 % и оптимальный выбор сырья для выработки пряжи требуемого качества имеет очень большое значение [16].

С целью получения гребенной и полугребенной пряжи высокого качества проведена оптимизация состава сортировок хлопкового волокна путем их моделирования в СКМ Maple [17].

Так как распределение по длине длинноволокнистого хлопка характеризуется значительной асимметрией, для моделирования распределения волокон использовано распределение Вейбулла. Закон распределения Вейбулла описывается дифференциальной функцией [1]:

$$f(x) = \frac{m}{a} \cdot \left(\frac{x}{a}\right)^{m-1} \cdot e^{\left(-\frac{x}{a}\right)^m}, \quad (1)$$

где m – параметр формы; a – параметр масштаба.

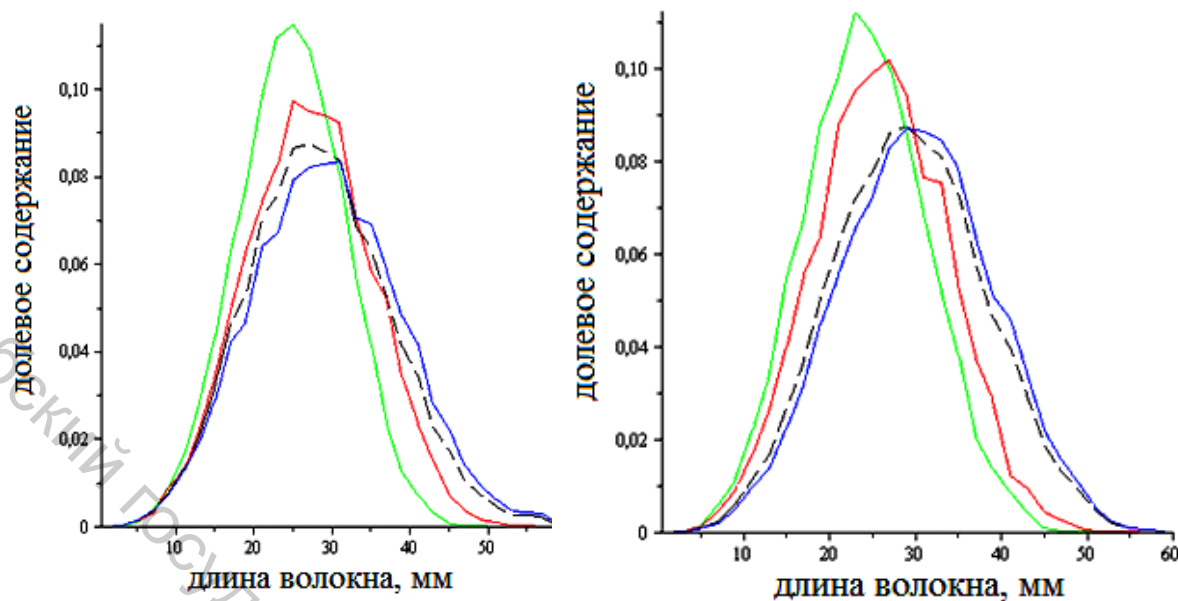
Объектом исследований являлись сортировки трех составов, представленные в таблице 1. Компоненты сортировок, используемых при моделировании, имели различные значения средней массодлины волокон и квадратической неровноты по длине.

Таблица 1 – Характеристика компонентов сортировок, используемых при моделировании

	Характеристики первого компонента		Характеристики второго компонента		Характеристики третьего компонента	
	Средняя массодлина, мм	Квадратическая неровнота по длине волокна, %	Средняя массодлина, мм	Квадратическая неровнота по длине волокна, %	Средняя массодлина, мм	Квадратическая неровнота по длине волокна, %
Состав 1	24,90	27,47	27,10	29,33	29,35	31,82
Состав 2	24,16	29,55	26,01	29,48	30,10	29,29
Состав 3	24,56	31,97	26,13	30,24	27,98	28,63

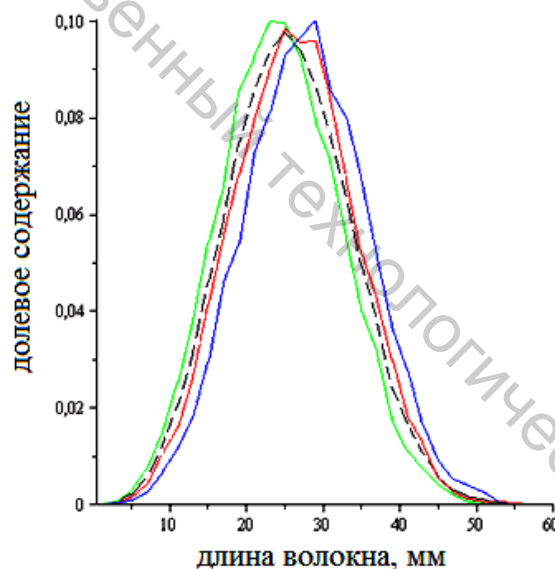
В результате моделирования определены наилучшие варианты соотношения долей компонентов для каждого состава, представленные на графиках (рисунок 3).

Анализ полученных графических моделей позволил определить оптимальный состав сортировок из средне- и длинноволокнистого хлопка, а также разработать рекомендации по составлению сортировок для получения гребенной и полугребенной пряжи. Для гребенной пряжи 11,8 – 29 текс использовалась сортировка из средневолокнистого хлопка 4–I и 5–I в соотношении 60/40 %, а для полугребенной пряжи линейной плотности 9,5 – 16,5 текс – длинноволокнистый хлопок 1–I – 67 % и средневолокнистый хлопок 4–I, 5–I – 20 % и 13 % соответственно.



а

б



в

а – состав 1; б – состав 2; в – состав 3

(——— — компоненты, - - - - - — смесь)

Рисунок 3 – Диаграммы распределения волокна по классам длины

Исследования свойств сырья проведены с использованием измерительной системы USTER®HVI 1000 в лаборатории фирмы Uster Technologies AG. Состав сортровок и показатели качества, используемого хлопкового волокна, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели качества средневолокнистого хлопка 4–I, 5–I и длинноволокнистого хлопка 1–I селекционного сорта Ашхабад–25

Параметр	Значение			
	Длинноволокнистый хлопок (67 %)	Средневолокнистый хлопок (33 %)		
		4-I (60%)	5-I (40%)	Средневзвешенный показатель
Микронейр	3,73	4,48	4,57	4,52
Средняя длина, мм	30,76	24,14	24,33	24,22
Верхняя средняя длина, мм	35,97	28,79	28,99	28,87
Индекс равномерности волокон по длине, %	85,5	83,80	83,9	83,84
Индекс коротких волокон, %	7,0	7,80	7,30	7,60
Удельная разрывная нагрузка волокон, сН/текс	38,4	30,50	31,6	30,94
Удлинение волокон при разрыве, %	3,70	4,50	4,40	4,46
Модальная массодлина, мм	34,60	30,8	29,50	30,28
Штапельная массодлина, мм	37,70	33,3	32,10	32,82
Средняя массодлина, мм	30,10	24,6	25,30	24,88
Линейная плотность волокна, мтекс	129,0	146,0	162,0	152,4
Массовая доля пороков, %	2,10	1,70	2,10	1,86
Неровнота по длине волокон, %	28,1	36,10	29,4	33,42

Анализ данных таблицы 2 показал следующее:

– длинно- и средневолокнистый хлопок обладают высокой удельной разрывной нагрузкой, что повышает его прядильную способность;

– индекс коротких волокон характеризует содержание волокон с длиной менее 0,5 дюйма (12,7 мм), которое не используется в процессе прядения и удаляется в отходы. Для данных типов и сортов хлопка значение индекса невелико (7 – 7,55 %) и находится в допустимых пределах 2 – 20 % [18];

– высокие показатели верхней средней длины и индекса равномерности волокон по длине говорят о высоком качестве исходного сырья, что в дальнейшем положительно отразится на процессах вытягивания и прядения.

Прогнозирование и расчет разрывной нагрузки пряжи позволяют увязать физико-механические свойства исходных волокон и технологические параметры прядения с ожидаемой разрывной нагрузкой пряжи и дают возможность определить, в какой степени каждый из этих факторов влияет на ее прочность [19].

Относительная разрывная нагрузка гребенной и полугребенной хлопчатобумажной пряжи кольцевого способа формирования рассчитана по формуле А. Н. Соловьева [20].

На первом этапе по формулам (2 – 5) проведен расчет средневзвешенных показателей разрывной нагрузки волокна $\overline{p_B}$, линейной плотности $\overline{T_B}$, средней длины волокна $\overline{l_B}$ и средней разрывной нагрузки волокон смеси [21].

Средняя длина волокон смеси:

$$\overline{l_B} = \alpha_1 \overline{l_1} + \alpha_2 \overline{l_2} + \dots + \alpha_m \overline{l_m} = \frac{\beta_1 / \overline{T_{B1}} + \beta_2 / \overline{T_{B2}} + \dots + \beta_m / \overline{T_{Bm}}}{\beta_1 / (\overline{l_1} \overline{T_{B1}}) + \beta_2 / (\overline{l_2} \overline{T_{B2}}) + \dots + \beta_m / (\overline{l_m} \overline{T_{Bm}})}. \quad (2)$$

Средняя линейная плотность волокон смеси:

$$\overline{T_B} = \frac{\alpha_1 \overline{l_1} \overline{T_{B1}} + \alpha_2 \overline{l_2} \overline{T_{B2}} + \dots + \alpha_m \overline{l_m} \overline{T_{Bm}}}{\alpha_1 \overline{l_1} + \alpha_2 \overline{l_2} + \dots + \alpha_m \overline{l_m}} = \frac{1}{\beta_1 / \overline{T_{B1}} + \beta_2 / \overline{T_{B2}} + \dots + \beta_m / \overline{T_{Bm}}}. \quad (3)$$

Средняя разрывная нагрузка волокон смеси:

$$\overline{p_B} = \alpha_1 \overline{p_1} + \alpha_2 \overline{p_2} + \dots + \alpha_m \overline{p_m} = \frac{\beta_1 \overline{p_1} / (\overline{l_1} \overline{T_{B1}}) + \beta_2 \overline{p_2} / (\overline{l_2} \overline{T_{B2}}) + \dots + \beta_m \overline{p_m} / (\overline{l_m} \overline{T_{Bm}})}{\beta_1 / (\overline{l_1} \overline{T_{B1}}) + \beta_2 / (\overline{l_2} \overline{T_{B2}}) + \dots + \beta_m / (\overline{l_m} \overline{T_{Bm}})}. \quad (4)$$

Средняя относительная разрывная нагрузка волокон смеси:

$$\begin{aligned} \bar{R}_B &= (\alpha_1 \bar{p}_1 + \alpha_2 \bar{p}_2 + \dots + \alpha_m \bar{p}_m) \cdot \frac{\alpha_1 \bar{l}_1 + \alpha_2 \bar{l}_2 + \dots + \alpha_m \bar{l}_m}{\alpha_1 \bar{l}_1 \bar{T}_{B1} + \alpha_2 \bar{l}_2 \bar{T}_{B2} + \dots + \alpha_m \bar{l}_m \bar{T}_{Bm}} = \\ &= \left(\frac{\beta_1}{\bar{T}_{B1}} + \frac{\beta_2}{\bar{T}_{B2}} + \dots + \frac{\beta_m}{\bar{T}_{Bm}} \right) \cdot \frac{\frac{\beta_1}{(\bar{l}_1 \bar{R}_1)} + \frac{\beta_2}{(\bar{l}_2 \bar{R}_2)} + \dots + \frac{\beta_m}{(\bar{l}_m \bar{R}_m)}}{\frac{\beta_1}{(\bar{l}_1 \bar{T}_{B1})} + \frac{\beta_2}{(\bar{l}_2 \bar{T}_{B2})} + \dots + \frac{\beta_m}{(\bar{l}_m \bar{T}_{Bm})}}, \quad (5) \end{aligned}$$

где $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ – доли компонентов в смеси по массе; $\bar{l}_1, \bar{l}_2, \dots, \bar{l}_m$ – средние длины волокон компонентов смеси, мм; $\bar{T}_{B1}, \bar{T}_{B2}, \dots, \bar{T}_{Bm}$ – средняя линейная плотность волокон компонентов смеси, текс; $\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \bar{p}_m$ – средняя разрывная нагрузка волокон компонентов смеси, сН.

Так как полугребенная пряжа получена путем соединения кардных и гребенных лент, то удельную неровноту пряжи принять из существующих диапазонов невозможно. В связи с этим разработаны математические модели для расчета удельной неровноты полугребенной пряжи, использованные при прогнозировании ее разрывной нагрузки, с учетом процентного вложения средне- и длинноволокнистого хлопка [22].

Удельная неровнота полугребенной пряжи (Ho), характеризующая качество технологического процесса, была рассчитана следующим образом.

По формуле (6) рассчитан коэффициент вариации пряжи по линейной плотности.

$$Cv = 1,25 \cdot Ho. \quad (6)$$

Коэффициент вариации кардной пряжи рассчитан по формуле

$$Cv_k = 1,25 \cdot H_{ок} = 1,25 \cdot 4,5 = 5,63. \quad (7)$$

Коэффициент вариации гребенной пряжи рассчитан по формуле

$$Cv_g = 1,25 \cdot H_{ог} = 1,25 \cdot 3,5 = 4,38, \quad (8)$$

где Cv_k, Cv_g – коэффициенты вариации по линейной плотности кардной и гребенной пряжи соответственно, $H_{ок}, H_{ог}$ – удельная неровнота пряжи для кардной и гребенной систем прядения.

Среднее квадратическое отклонение по линейной плотности кардной и гребенной пряжи рассчитано по формулам

$$\delta_k = T_{\Pi} \cdot \beta_{cp} \cdot Cv_k / 100. \quad (9)$$

$$\delta_z = T_{\Pi} \cdot \beta_{\text{дл}} \cdot C_{v_z} / 100, \quad (10)$$

где T_{Π} – линейная плотность пряжи, текс, $\beta_{\text{ср.}}$, $\beta_{\text{дл.}}$ – процентное вложение средне- и длинноволокнистого хлопка после гребнечесания.

Среднее квадратическое отклонение по линейной плотности для полугребенной пряжи рассчитывается по формуле

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\kappa}^2 + \delta_z^2}. \quad (11)$$

Коэффициент вариации полугребенной пряжи по линейной плотности рассчитывается по формуле

$$C_{v\Sigma} = \frac{\delta_{\Sigma}}{T_{\Pi}} 100\%. \quad (12)$$

Удельная неровнота полугребенной пряжи рассчитана по формуле

$$H_{0\Sigma} = \frac{C_{v\Sigma}}{1,25}. \quad (13)$$

Результаты расчета удельной неровноты полугребенной пряжи с различным процентным вложением гребенных лент представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные значения удельной неровноты для полугребенной пряжи линейной плотности 15,4 текс

Процентное содержание средне- и длинноволокнистого хлопка в полугребенной пряже	Значение удельной неровноты, $H_{0\Sigma}$, %
33 % длинноволокнистого хлопка и 67 % средневолокнистого	3,23–3,60
50 % длинноволокнистого хлопка и 50 % средневолокнистого	2,85–3,20
67 % длинноволокнистого хлопка и 33 % средневолокнистого	2,78–3,15

Относительная разрывная нагрузка полугребенной пряжи рассчитана по формуле, предложенной профессором Соловьевым А.Н., с учетом удельной неровноты полугребенной пряжи:

$$R_{\Pi} = R_B \cdot \left(1 - 0,0375 \cdot H_{0\Sigma} - \frac{2,65}{\sqrt{T_{\Pi} / T_B}} \right) \cdot \left(1 - \frac{5}{l_{\text{шт}}} \right) \cdot k \cdot \eta, \quad (14)$$

где $R_{\text{П}}$ и $R_{\text{В}}$ – относительная разрывная нагрузка пряжи и волокна, сН/текс; $T_{\text{П}}$ и $T_{\text{В}}$ – линейная плотность пряжи и волокна, текс; $l_{\text{шт}}$ – штапельная длина волокна, мм; η – коэффициент, учитывающий состояние оборудования (0,95 – 1,1; 1 – для нормального состояния оборудования); k – коэффициент, равный отношению разрывной нагрузки пряжи, полученной при фактическом коэффициенте крутки, и разрывной нагрузки пряжи, полученной при критическом коэффициенте крутки.

Результаты расчета относительной разрывной нагрузки полугребенной пряжи при минимальном значении удельной неровноты пряжи представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Относительная разрывная нагрузка гребенной и полугребенной пряжи линейной плотности 15,4 текс

Вид пряжи	Разрывная нагрузка, сН/текс	
	Теоретическое значение	Фактическое значение
Полугребенная пряжа с вложением длинноволокнистого хлопка 33 %	15,58	16,30
Полугребенная пряжа с вложением длинноволокнистого хлопка 50 %	15,79	16,56
Полугребенная пряжа с вложением длинноволокнистого хлопка 67 %	16,28	16,78
Гребенная пряжа из длинноволокнистого хлопка	16,50	16,80

В результате сравнительного анализа теоретических и экспериментальных данных установлено, что результаты расчета разрывной нагрузки полугребенной пряжи с использованием расчетных значений удельной неровноты хорошо согласуются с опытными данными, а разница между ними не превышает 5 %. Также установлено, что разрывная нагрузка полугребенной пряжи незначительно уступает разрывной нагрузке гребенной пряжи из длинноволокнистого хлопка.

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми к засоренности лент при производстве гребенной пряжи, проведены исследования по оптимизации технологических процессов разрыхления и очистки средневолокнутого хлопка на поточной линии «кипа-лента» фирмы Rieter в производственных условиях ОАО «Гронитекс». Исследовано влияние параметров работы очистителей UNIclean B11 и

UNiflex B60 на выход полуфабрикатов и состав отходов. Определены оптимальные параметры работы очистителей, обеспечивающие минимальное содержание сорных примесей и пороков волокна в чесальной ленте: для очистителя UNIclean B11 интенсивность очистки – 0,3; относительная масса отходов – 5; для очистителя UNiflex B60: интенсивность очистки – 0,2; относительная масса отходов – 4.

Определены оптимальные параметры заправки чесальных машин C60, ленточных машин предварительного перехода SB-D40 и холстоформирующей машины Unilap E32 для получения полуфабрикатов высокого качества [7, 23].

Исследования по оптимизации процесса гребнечесания средневолокнистого хлопка проведены на машине E66 фирмы Rieter. В результате установлено, что эффективность выравнивания волокон по длине в процессе гребнечесания характеризуется уменьшением количества коротких волокон на 20 – 30 % по сравнению с составом волокон в продукте до гребнечесания, а эффективность распрямления волокон – увеличением коэффициента распрямленности с 0,75 для холстика до 0,82 для гребенной ленты. Определено влияние параметров процесса гребнечесания на рассортировку хлопковых волокон в гребенной ленте. В результате исследований обоснована целесообразность снижения линейной плотности холстика с 80,7 до 76,9 ктекс.

Проведены экспериментальные исследования влияния величины разводки, частоты вращения гребенного барабанчика и длины питания на выход гребенных очесов. В результате исследований определены оптимальные значения параметров процесса гребнечесания: разводка между тисками и отделительным зажимом – 23,5 мм, частота вращения гребенного барабанчика – 440 мин⁻¹. Установлено, что влияние длины питания на эффективность процесса гребнечесания ниже, чем влияние разводки. Поэтому ввиду трудоемкости изменения разводки на современных машинах фирмы Rieter ее целесообразно оставлять постоянной.

Анализ работы гребнечесальной машины при переработке средневолокнистого хлопка показал, что с увеличением количества очесов до 17 % существенно повышаются качественные показатели пряжи, что выражается в снижении количества пороков и неровноты пряжи по линейной плотности с 13,32 % до 12,20 %, а также в повышении разрывной нагрузки с 14,1 сН/текс до 15,8 сН/текс.

Проведены экспериментальные исследования влияния величины спайки на неровноту гребенной ленты по линейной плотности.

На рисунке 4 представлены результаты экспериментальных исследований влияния положения контрольного диска на высоту пика

на спектрограмме неровноты гребенной ленты. В результате определено оптимальное положение контрольного диска гребнечесальной машины Е66, равное $0,47 \pm 0,1$, при котором достигается минимальная высота соответствующего спайке пика на спектрограмме, представленной на рисунке 5.

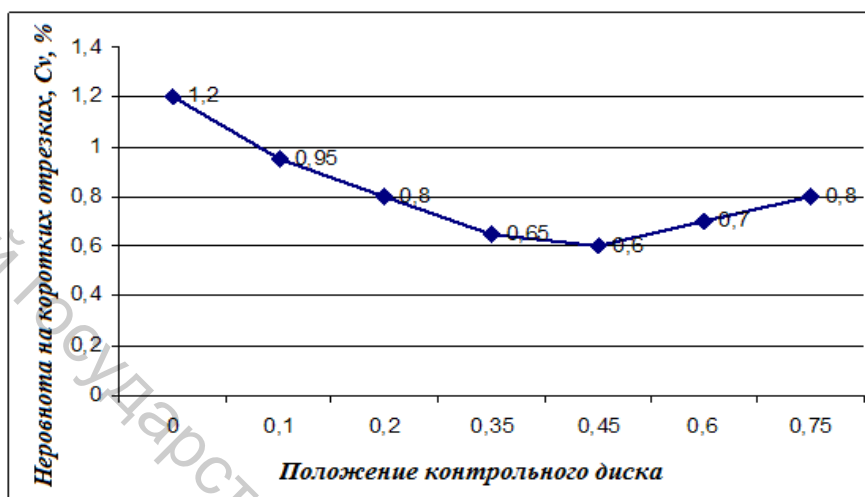


Рисунок 4 – Зависимость неровноты гребенной ленты от положения контрольного диска

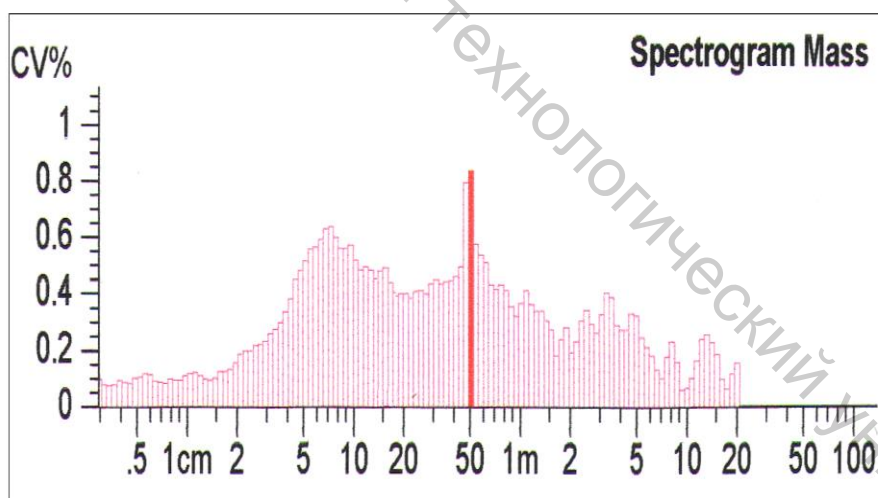


Рисунок 5 – Спектрограмма неровноты гребенной ленты

Определены оптимальные значения разводки в зонах вытягивания: в зоне предварительного вытягивания – 52 мм; в зоне основного вытягивания – 44 мм.

Оптимизация параметров гребнечесания позволила повысить равномерность по длине волокон в прочесе, уменьшить количество коротких волокон в прочесе и длинных волокон в очесе. Необходимо

отметить, что оптимальные параметры процесса гребнечесания позволяют осуществлять максимально точную рассортировку волокон по длине.

Разработаны и утверждены карты технологических процессов получения гребенной пряжи трикотажного и ткацкого назначения.

Проведен анализ физико-механических свойств опытной гребенной пряжи и показателей ее неровноты. Для определения качества полученной пряжи осуществлено сравнение ее свойств с уровнями качества по бюллетеням Uster Statistics 2013 (таблица 5).

Таблица 5 – Оценка качества гребенной пряжи линейной плотности 16,5 текс из средневолокнистого хлопка согласно Uster Statistics 2013

Наименование показателя	Требования Uster Statistics 2013 для уровня качества 50 %	Фактические значения показателя для опытного варианта пряжи	Уровень качества по Uster Statistics 2013, %	Фактический уровень показателя по данным Uster Statistics, % (до исследований)
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	17,0	16,1	57	83
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	7,9	5,5	≤5	>95
Коэффициент вариации по линейной плотности на коротких отрезках, %	13,4	12,43	25	>95
Коэффициент вариации по линейной плотности на отрезках 1 м, %	3,8	3,8	50	–
Коэффициент вариации по линейной плотности на отрезках 3 м, %	2,96	2,91	46	–
Утонения, -40 %, количество на 1 км	79	23	≤5	>95
Утонения, -50 %, количество на 1 км	3	0	≤5	>95
Непсы, +200 %, количество на 1 км	92	147	68	>95

В результате установлено, что пряжа, произведенная по разработанной технологии, может быть отнесена к 45 % лучших мировых образцов, испытываемых на приборах USTER®TESTER, в то

время как до проведения экспериментальных исследований пряжа находилась в среднем на уровне качества 90 %.

Проведенные исследования позволили: увеличить относительную разрывную нагрузку пряжи с 14,8 сН/текс до 16,1 сН/текс; снизить коэффициент вариации по линейной плотности пряжи на коротких отрезках на 3,2 %; снизить коэффициент вариации по разрывной нагрузке пряжи на 4,3 % и выйти на уровень качества ≤ 5 %.

Переработка гребенной пряжи на ОАО «Бобруйсктрикотаж» проводилась на кругловязальной двухфонтурной машине «Metin–Nov» 20 класса в трикотажное полотно, предназначенное для повседневных и спортивных изделий. При переработке использовалась гребенная пряжа линейной плотности 20 текс.

Для переработки в ткацком производстве в условиях ОАО «БПХО» использована гребенная пряжа линейной плотности 14,5 текс для наработки опытной партии ткани артикула № 943 для постельного белья. Гребенная хлопчатобумажная пряжа линейной плотности 16,5 текс производства ОАО «Гронитекс» переработана в тканые медицинские бинты с неосыпающимися краями в условиях Могилевского ОАО «Лента». Полугребенная пряжа переработана в качестве уточной нити в кордные ткани на ОАО «Гродно-Азот».

На основании анализа результатов опытной переработки установлено, что выработанные текстильные материалы удовлетворяют требованиям нормативных документов, а гребенная хлопчатобумажная пряжа из средневолокнистого хлопка соответствует требованиям, предъявляемым к пряже при ее переработке в трикотажном и ткацком производствах.

Технологические процессы получения гребенной хлопчатобумажной пряжи из средневолокнистого хлопка линейной плотности 11,8 – 29 текс и полугребенной пряжи из смеси средне- и длинноволокнистого хлопка линейной плотности 9,5 – 16,5 текс внедрены в производство ОАО «Гронитекс» и признаны экономически целесообразными.

Выводы

Разработаны технологические процессы получения гребенной пряжи линейной плотности 11,8 – 29 текс и полугребенной пряжи 9,5 – 16,5 текс с использованием средне- и длинноволокнистого хлопка, обеспечивающие промышленный выпуск нового ассортимента хлопчатобумажной пряжи.

Предложена методика моделирования состава сортировок из средне- и длинноволокнистого хлопка, позволяющая определять

влияние свойств смешиваемых компонентов и соотношения их долей на показатели смеси волокон.

Разработан метод прогнозирования относительной разрывной нагрузки полугребенной пряжи с помощью созданных математических моделей для расчета удельной неровности пряжи, позволяющий учитывать процентное соотношение средне- и длинноволокнистого хлопка.

В процессе экспериментальных и теоретических исследований установлены оптимальные режимы работы оборудования, обеспечивающие получение качественной гребенной и полугребенной пряжи в среднем на уровне 45 % лучших мировых образцов по данным бюллетеня Uster Statistics 2013.

Осуществлена производственная апробация нового ассортимента пряжи. Разработанная гребенная пряжа используется для производства верхнего и летнего трикотажа, бельевых изделий на ОАО «8 Марта», ОАО «Бобруйсктрикотаж», тканей для постельного белья на ОАО «БПХО», а также медицинских перевязочных материалов на ОАО «Лента». Полугребенная пряжа переработана в кордные ткани на ОАО «Гродно-Азот». Показатели качества готовой продукции соответствуют требованиям ТНПА.

ГЛАВА 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТКАНЕЙ КЛАССИЧЕСКИХ И НОВЫХ ГОБЕЛЕНОВЫХ СТРУКТУР

Исследование строения и особенностей выработки современных гобеленовых тканей – самых перспективных с точки зрения художественно-колористического оформления, создание новых структур и переплетений, отличающихся от существующих повышенной технологичностью, разнообразием фактурных, цветовых и сырьевых решений, является важной научно-практической задачей. Заправка и их выработка сопряжены с определёнными трудностями, так как нити основы и утка располагаются в ткани не в обычном порядке – одна рядом с другой в одном слое, а в параллельных слоях, расположенных один над другим, для каждого из которых предусмотрена своя система основы и утка. При этом уработка нитей в слоях может отличаться. Нити основы, имеющие существенную разницу в уработке, необходимо навивать на разные навои для предотвращения остановов ткацкого станка вследствие провисания нитей с меньшей уработкой. Это усложняет процесс заправки и выработки ткани, а также и работу самого ткацкого станка. В связи с этим проектировщику рисунка необходимо учитывать разницу значений уработки нитей, навитых на один ткацкий навой. Производство современных отечественных гобеленовых тканей требует обновления теоретических и методических подходов в области их разработки и проектирования, создания выразительных фактур, универсальных технологичных структур и программных продуктов, обеспечивающих быструю смену ассортимента, сокращение расходов и повышения производительности ткацкого оборудования.

Целью данных исследований является создание теоретической базы для разработки и дальнейшего проектирования высокотехнологичных гобеленовых тканей классического и нового строения различного сырьевого состава.

Для выполнения поставленной цели были решены следующие задачи:

- произведён анализ закономерностей расположения нитей в гобеленовых тканях;
- разработаны новые классические гобеленовые переплетения и гобеленовые переплетения нового вида – смешанные гобелены;
- выявлены и систематизированы возможные взаимные расположения основных и уточных нитей в разработанных переплетениях по продольным разрезам тканей;

- установлено влияние взаимных расположений нитей в основном и смешанном гобеленах на уработку нитей основы с помощью полученных математических моделей;
- разработан программный продукт для проектирования высокотехнологичных гобеленовых тканей классических и новых структур;
- разработана методика определения уработки нитей в основном и смешанном гобеленах [1].

Известны классический и смешанный основные гобелены, продольные разрезы которых (рисунок 1), отличаются друг от друга лишь переплетением нитей лицевого слоя. В классических основных гобеленах лицевая поверхность рубчатая, репсовидная (*а*). Наряду с рубчиковым, в лицевом слое используется полотняный эффект поверхности (*б*), который образуется за счёт смещения настилов коренной основы над коренными утками в шахматном порядке, переплетающейся с прижимными по полотняному переплетению. В смешанных основных гобеленах (*в*) в лицевом слое применяют переплетения главного класса, их производные, комбинированные переплетения без нарушения структуры основного гобелена. Таким образом, отличия заметны только на лицевой стороне ткани [2]. Смешанные основные гобелены не предполагают сочетания в одной ткани двух структур.

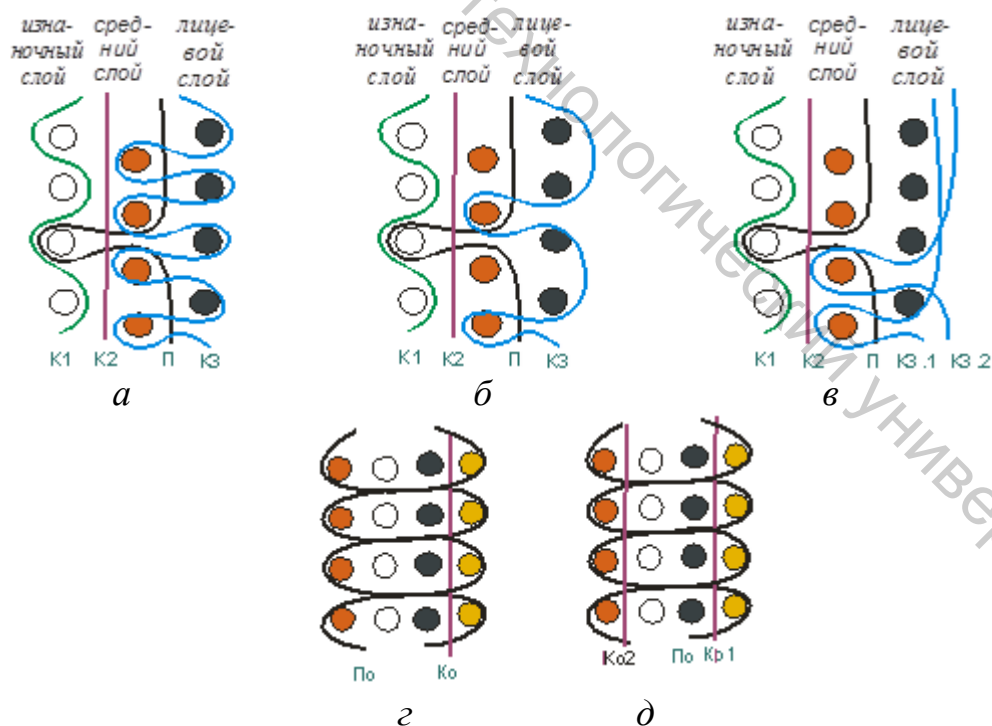


Рисунок 1 – Продольные разрезы основных (*а, б, в*) и уточных (*г, д*) гобеленов

Кроме основных, известны уточные гобелены. Их характерной особенностью является то, что все цветовые эффекты на внешних сторонах ткани выявлены исключительно нитями утка. В строении уточного гобелена могут принимать участие от 2-х до 8-ми систем уточных нитей и от 2-х до 3-х систем основных нитей, которые делятся на коренную (К) и прижимную (П). В структуре одностороннего уточного гобелена (а) принимают участие одна система коренной основы, в двухстороннем – две системы коренных основ (б).

Установлены недостатки известных гобеленов, которые должны быть минимизированы при создании универсальных и высокотехнологичных гобеленовых переплетений нового вида: для основных гобеленов свойственны сложность заправки станка и проектирования рисунка, повышенная обрывность основных нитей вследствие неравномерности их уработки, большие временные затраты на подготовку основы к ткачеству; уточные гобелены ограничены в колористическом оформлении количеством используемых утков, их выработка характеризуется низкой производительностью ткацкого оборудования из-за высокой плотности по утку. Необходимость использования двух навоев в заправке станка из-за большой разницы в уработках прижимной и коренных основ характерны как для основного, так и для уточного гобеленов.

Разработан новый вид переплетений [3, 4], позволяющих сочетать две структуры гобеленов в одной ткани (рисунок 2), что достигается путём поворота на 90° по часовой стрелке переплетения основного гобелена. В результате такого поворота основные настилы становятся уточными, уточные – основными. Структуру такой ткани предложено называть смешанным гобеленом, так как в ней сочетаются признаки как основного (трёхслойное строение, наличие коренных и прижимных систем основы и утка), так и уточного гобеленов (цвет создаётся в основном настилами утка).

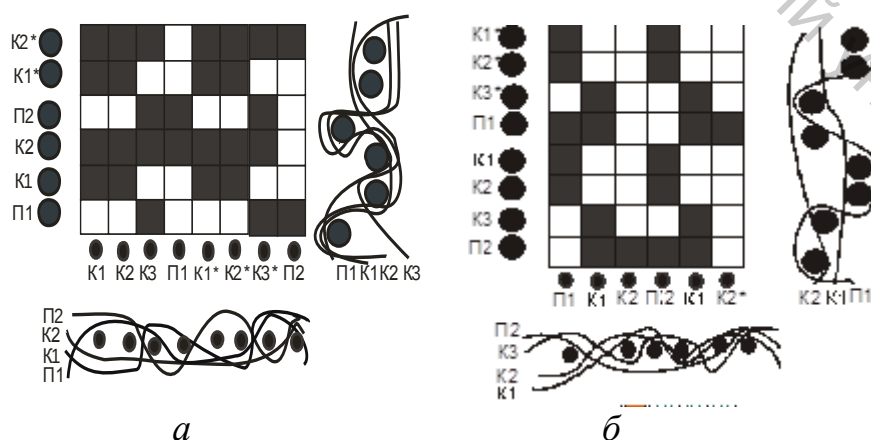


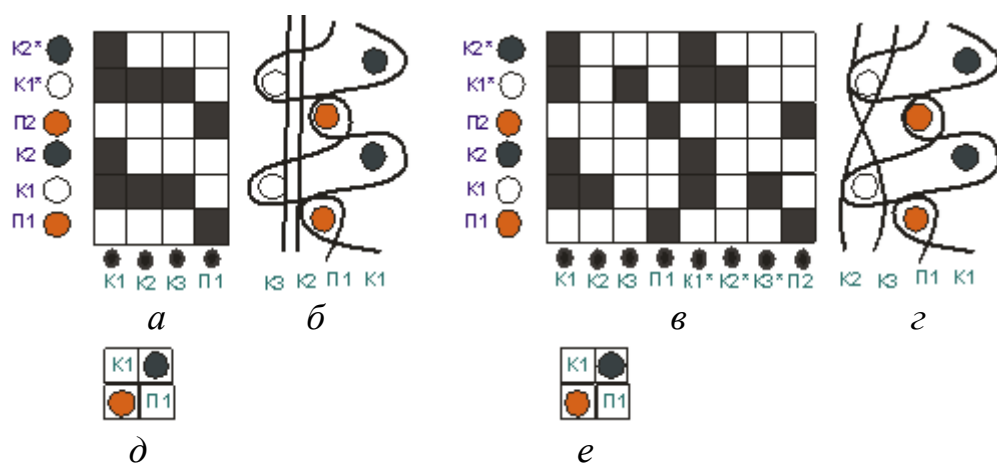
Рисунок 2 – Модельные переплетения, продольные и поперечные разрезы основного (а) и смешанного (б) гобеленов

Наиболее распространённой, технологичной и оптимальной структурой основного гобелена является ткань, состоящая из четырёх коренных основ, каждая из которых может выполнять роль прижимной, и двух систем нитей утка – двух коренных (тёмного и светлого) и одного прижимного. В классическом гобелене прижимная основа, как и прижимной уток, существенно отличаются от коренных линейной плотностью, сырьевым составом и, соответственно, их поперечным сечением. Но так как для получения максимального количества оттенков необходима взаимозаменяемость функций как уточных, так и основных нитей, то целесообразно анализировать гобеленовые структуры тканей, в которых все системы уточных нитей имеют одинаковый сырьевой состав и линейную плотность, так же, как и все системы основных нитей.

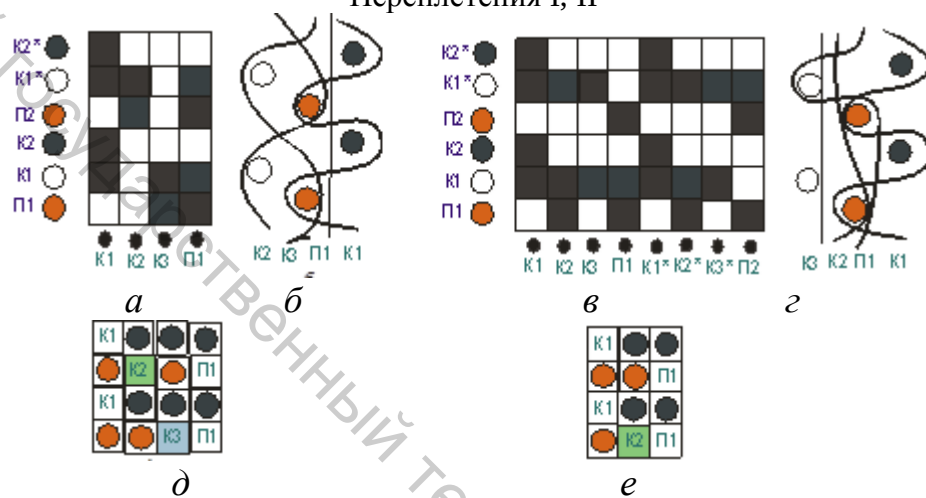
Впервые произведена систематизация взаимных расположений нитей основы и утка в основном гобелене на основе глубокого анализа возможных взаимных расположений основных и уточных нитей в основном гобелене, для чего построено и проанализировано 14 переплетений, включающих все возможные для данной структуры варианты расположения нитей.

Рассмотрены характерные продольные разрезы и соответствующие им модельные переплетения современного классического основного гобелена с рубчиковым и полотняным эффектами поверхности лицевого слоя. В изнаночном слое используется полотно для придания ткани большей формоустойчивости, либо переплетение, имитирующее полотняное. Характер взаимного расположения нитей среднего и изнаночного слоёв может быть различным. Так как он формирует структуру и не влияет на внешний вид ткани, то были проанализированы только наиболее часто встречающиеся варианты строения среднего и изнаночного слоёв для всех возможных вариантов лицевого слоя в гобеленовых переплетениях с раппортом по основе – 8 нитей, по утку – 6 нитей. При анализе учтено, что длина основы в пределах раппорта, от которой зависит значение уработки нитей, прямо пропорциональна изгибам этой основы, визуализированным на продольных разрезах, построенных для каждого переплетения [5].

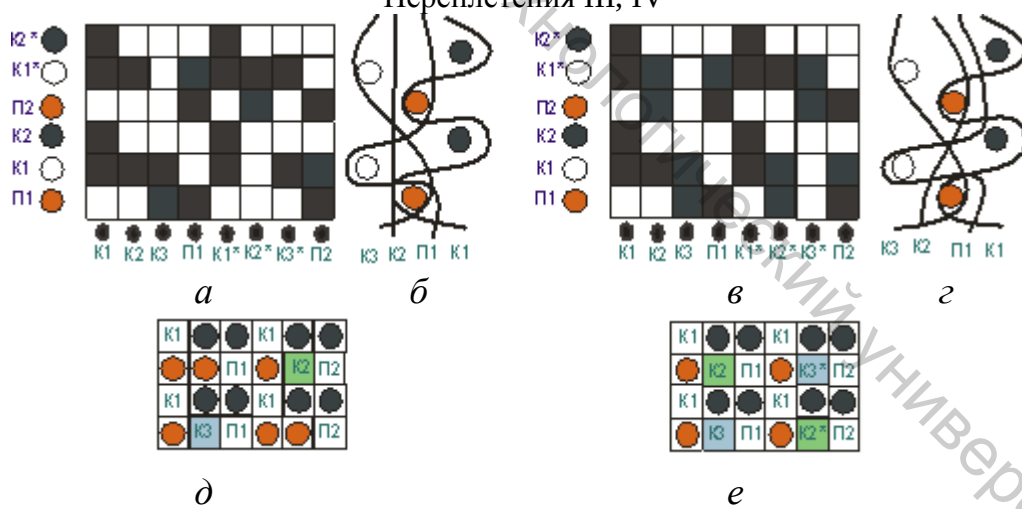
На рисунках 3 и 4 представлены модельные переплетения (а, в), продольные разрезы (б, г) и цветовые ячейки лицевого слоя (д, е) для рубчикового и полотняного эффектов классического гобелена.



Переплетения I, II

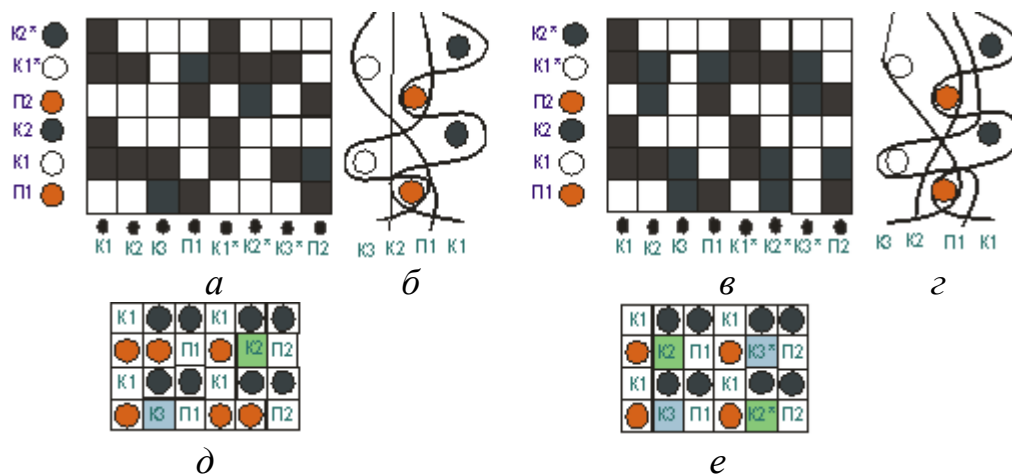


Переплетения III, IV

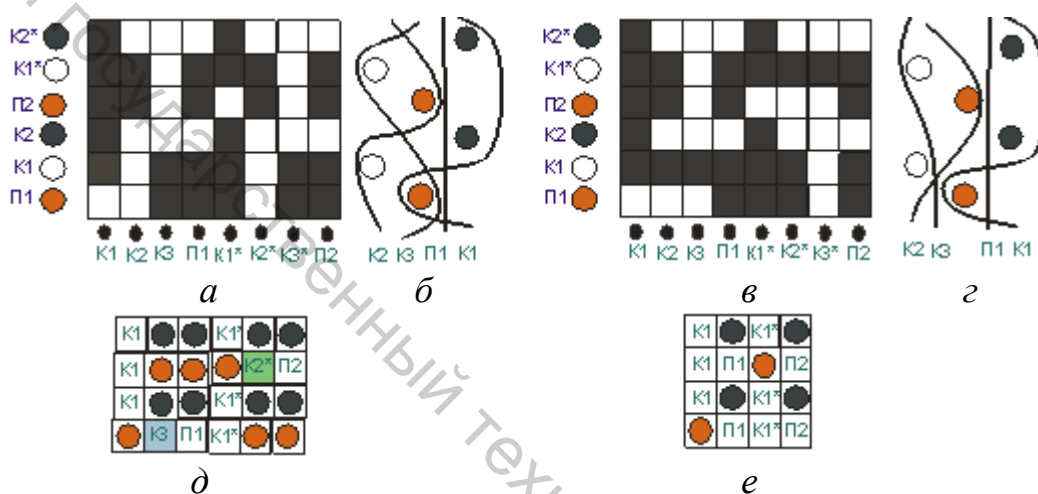


Переплетения V, VI

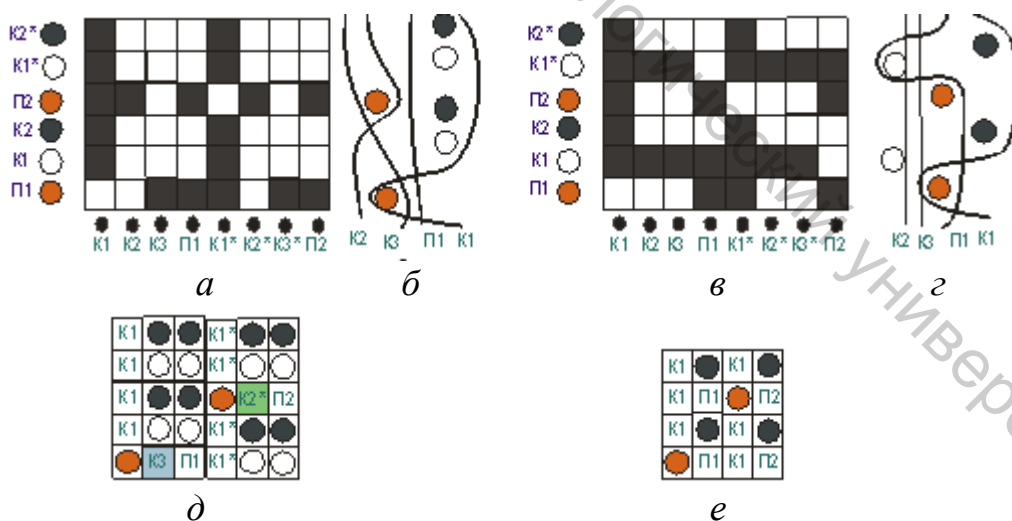
Рисунок 3 – Модельные переплетения, продольные разрезы и цветные ячейки лицевого слоя для рубчикового эффекта классического гобелена



Переплетения VII, VIII

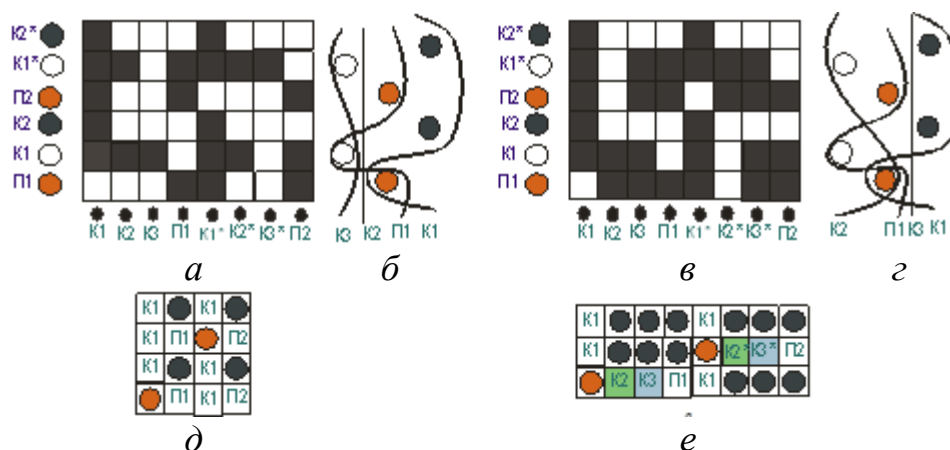


Переплетения IX, X



Переплетения XI, XII

Рисунок 4 – Модельные переплетения и продольные разрезы для полотняного эффекта классического гобелена



Переплетения XIII, XIV

Рисунок 4 (продолжение) – Модельные переплетения и продольные разрезы для полотняного эффекта классического гобелена

Построенные рисунки переплетений основного гобелена проанализированы с целью систематизации характерных продольных разрезов, что необходимо для объединения в группы нитей основы, имеющих одинаковую длину в пределах раппорта переплетения. Анализ показал, что характер расположения основы относительно утка в гобеленовых переплетениях рубчикового и полотняного эффектов повторяется. Варианты графического изображения переплетения отдельных нитей основы с утком в современном основном гобелене объединены в группы. Группы нитей современного основного гобелена обозначаются буквами русского алфавита от «А» до «З».

С целью определения и сравнительного анализа уработки нитей в гобеленовых тканях классического и нового строения разработано пять переплетений классического основного гобелена, состоящих из наиболее характерных графических изображений основных нитей, принадлежащих к каждой из выделенных групп, на их базе построены переплетения смешанного гобелена [6], выделены группы и определена принадлежность нитей основы характерным разрезам соответствующих групп. На рисунке 5 приведены разработанные переплетения № 1 для основного (а) и № 2 для смешанного (б) гобеленов.

С целью визуализации лицевого слоя для каждого из десяти разработанных переплетений смоделированы цветные ячейки, которые положены в основу алгоритмов программного продукта для проектирования гобеленовых тканей. Произведён анализ разработанных переплетений смешанного гобелена, в результате – систематизированы их продольные разрезы; нити смешанного гобелена, графические изображения которых являются негативными по отношению друг к другу и перекрывают в одинаковой последовательности одно и то же

количество утков, объединены в семь групп, обозначенных буквами русского алфавита от «И» до «П».

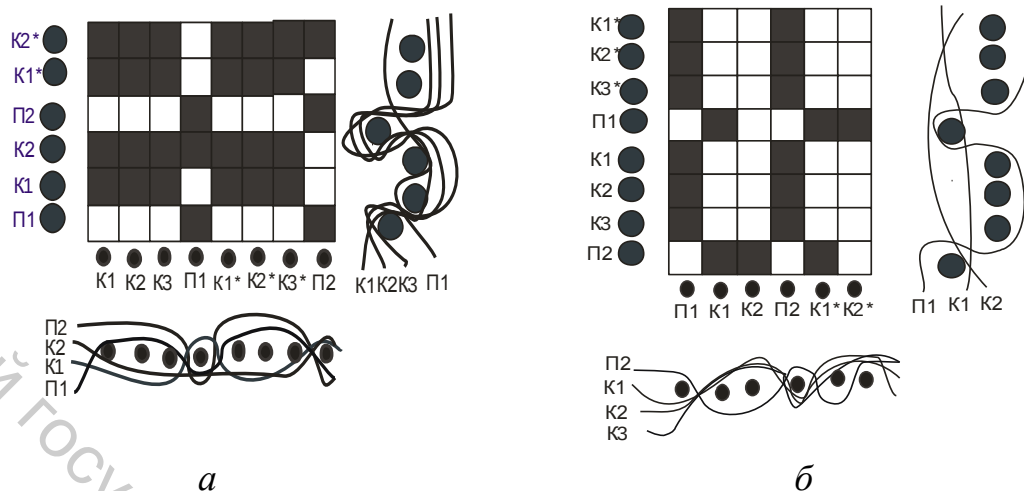


Рисунок 5 – Рисунки разработанных гобеленовых переплетений № 1 (а) и № 2 (б)

При выводе формул принято следующее допущение: форма поперечного сечения нитей по всей длине ткани есть величина постоянная [7].

Формула для определения уработки нитей основы в опытных образцах тканей имеет вид:

$$A_o = \frac{L_{но} - 10R_y/P_y}{L_{но}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $L_{но}$ – длина нити основы в пределах раппорта переплетения, мм; P_y – плотность ткани по утку, нит./см; R_y – раппорт переплетения по утку, нит.

При выводе формул для теоретических расчётов уработки нитей основы каждой системы впервые учтена различная деформация утка в ткани в пределах одной нити. Она зависит от натяжения каждой конкретной нити основы, на что влияет ряд факторов, в том числе – характер переплетения и уработка основной нити. В результате взаимодействия нитей основы и утка уток сохраняет форму поперечного сечения в виде круга, диаметры которого в местах пересечения нитями основы каждого свода отличаются друг от друга в пределах одной нити; диаметры основы, приобретая форму эллипса, остаются постоянными по длине нити, при этом размеры по горизонтали и вертикали не зависят от вида утка, с которым она пересекается. Поэтому для обозначения диаметра поперечного сечения каждого отдельного участка уточной нити введены индексы,

совпадающие с названием пересекающей основы. Установлено, что прижимные нити утка испытывают большие деформации со стороны основы, чем коренные, их диаметры обозначены: d_{y1} (для прижимного утка) и d_{y2} (для коренного утка).

Для теоретического определения уработки основы построены геометрические модели строения гобеленовых тканей. На рисунке 6 представлена фотография продольного разреза (а) и геометрическая модель строения ткани вдоль нитей основы K1(K2, K3) (б) переплетения № 1 основного гобелена в масштабе 1:20.

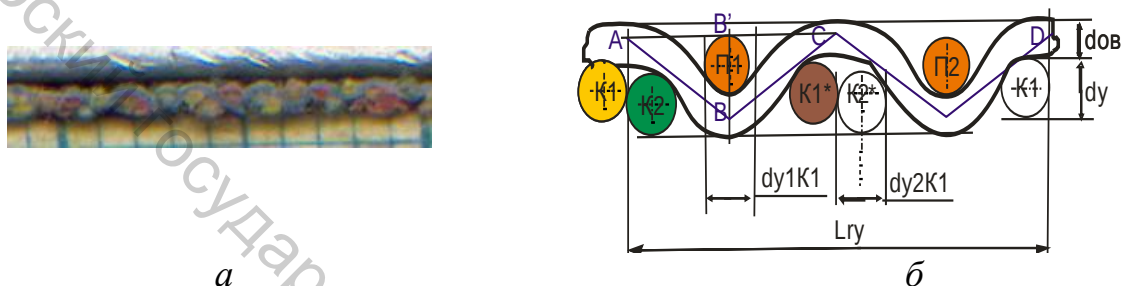


Рисунок 6 – Продольный разрез (а) и геометрическая модель строения ткани переплетения № 1 вдоль нитей основы K1 (K2, K3) (б)

Нити в структуре гобелена находятся в различных горизонтальных и вертикальных плоскостях, образуя лицевой, изнаночный, средний слои, уработка нитей в которых существенно отличается. Поэтому построение одной геометрической модели вдоль основы и утка, которая бы отражала фактическое расположение нитей в ткани, не представляется возможным. В связи с этим на геометрических моделях показаны только те нити, которые находятся в одной плоскости, их диаметры изображены с учётом их фактической деформации в ткани. Продольный разрез рассматриваемой нити основы K1, как и основ K2 и K3, относится к группе «А» (в). По геометрической модели выведена формула длины нити основы K1 переплетения № 1:

$$L_{ноK1(A \text{ "в"})} = 4 \cdot \sqrt{\left(\frac{5R_y}{2P_y}\right)^2 + \left(d_{y1K1} + \frac{d_{ос}}{2}\right)^2}, \quad (2)$$

где d_{y1K1} – диаметр коренного утка в ткани при пересечении с основой K1, мм; $d_{ос}$ – диаметр основы в ткани по вертикали.

Для получения формул расчёта длин основных нитей K2 и K3 необходимо подставить в формулу 2 диаметры поперечного сечения уточных нитей с соответствующими этим нитям индексами (d_{y1K2} и d_{y1K3}). При использовании формулы 1 получена математическая зависимость для определения уработки нитей основы K1 в тканях

переплетения № 1 основного гобелена, которая используется для нитей, принадлежащих к группе «А» (в).

Аналогичным образом построены геометрические модели и выведены формулы для определения уработки нитей, принадлежащих всем вариантам продольных разрезов выделенных групп. Изготовление и исследование опытных образцов разработанных переплетений показало, что отклонение теоретически полученных значений уработки отличается от фактических в пределах 5 %, что допустимо в практике проектирования, из чего сделан вывод о достоверности полученных формул. Кроме этого, основные нити смешанного гобелена по сравнению с основным, имеют более равномерные значения уработок в пределах раппорта переплетения, что говорит о большей технологичности гобеленовых тканей новой структуры.

Результаты исследования использованы при создании программного продукта для разработки современных гобеленовых тканей новых структур.

Совместно с Д.А. Иваненковым и Г.В. Казарновской в среде «Delphi» разработан программный продукт для проектирования гобеленовых тканей нового вида [8], реализующий следующие операции:

- ввод исходных данных (вид и линейная плотность, коэффициенты деформации нитей в ткани, плотности по основе и утку);
- выбор вида переплетения;
- выбор цвета нитей в гобеленовой ткани;
- визуализация лицевого слоя проектируемого ткацкого эффекта;
- определение значений уработок нитей основы проектируемого гобелена;
- анализ цветовых эффектов, корректировка и подбор модельных переплетений и цветовой палитры нитей для фрагментов жаккардового рисунка.

Новый программный продукт отличается от существующих тем, что обеспечивает: возможность проектирования ранее не известного вида гобеленов – смешанного, наряду с основным; визуализацию лицевой поверхности тканей нового вида (рисунок 7 а) с учётом фактических плотностей и размеров поперечного сечения нитей, все основные и уточные системы которых могут иметь различный цвет, сырьевой состав (в том числе многокомпонентный), линейную плотность, коэффициенты деформации, варьируемые для разных отрезков утка в пределах одной нити; получение большого количества фактурных и цветовых решений благодаря применению вновь разработанных переплетений и использованию возможностей многоуточных механизмов ткацких станков различных конструкций

(возможность выбора до восьми цветов утка); определение значений уработки основы каждой системы в отдельности (б) по найденным в главе 3 математическим зависимостям, благодаря чему становится возможным подбирать переплетения, проектируя ткани нового вида с выровненными значениями уработки.



Рисунок 7 – Многооконный интерфейс с вариантами цветовых решений разрабатываемой гобеленовой ткани (а) и окно с расчётом уработки по сводам (б)

Использование программного продукта способствует получению широкого ассортимента технологичных конкурентоспособных гобеленовых тканей нового вида оптимального строения и художественно колористического оформления, отвечающих современным требованиям в текстильном дизайне без предварительной наработки опытных образцов, что повышает производительность труда и оборудования.

Таким образом, получено 16 математических зависимостей (7 – для основного гобелена, 9 – для смешанного), разработана методика для определения уработки нитей, соответствующих продольным разрезам выделенных групп на базе проведённой систематизации взаимного расположения нитей основы и утка. На рисунке 8 представлены графические изображения (а) и продольные разрезы (б – д) вдоль нитей основы, принадлежащих группам «А» и «Б» объединённой группы «А».

Предварительный анализ срезов тканей позволил построить геометрические модели их строения вдоль основных нитей для определения математических зависимостей уработки основы от плотности по утку и фактических диаметров нитей в ткани. Выведены формулы для определения уработки нитей основы, продольные разрезы

которых принадлежат группе «А». Формула (3) соответствует разрезу вида (б), формула (4) – разрезу вида (в):

$$A_{oK3(A \text{ "б"})} = \frac{\frac{d_{y2K3}}{2} + \sqrt{\left(\frac{2,5R_y}{P_y} - \frac{d_{y2K3}}{2}\right)^2 + (d_{y2K3})^2} - \frac{2,5R_y}{P_y}}{\frac{d_{y2K3}}{2} + \sqrt{\left(\frac{2,5R_y}{P_y} - \frac{d_{y2K3}}{2}\right)^2 + (d_{y2K3})^2}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

где d_{y2K3} – фактический диаметр прижимного утка в ткани при пересечении его с основой КЗ, мм;

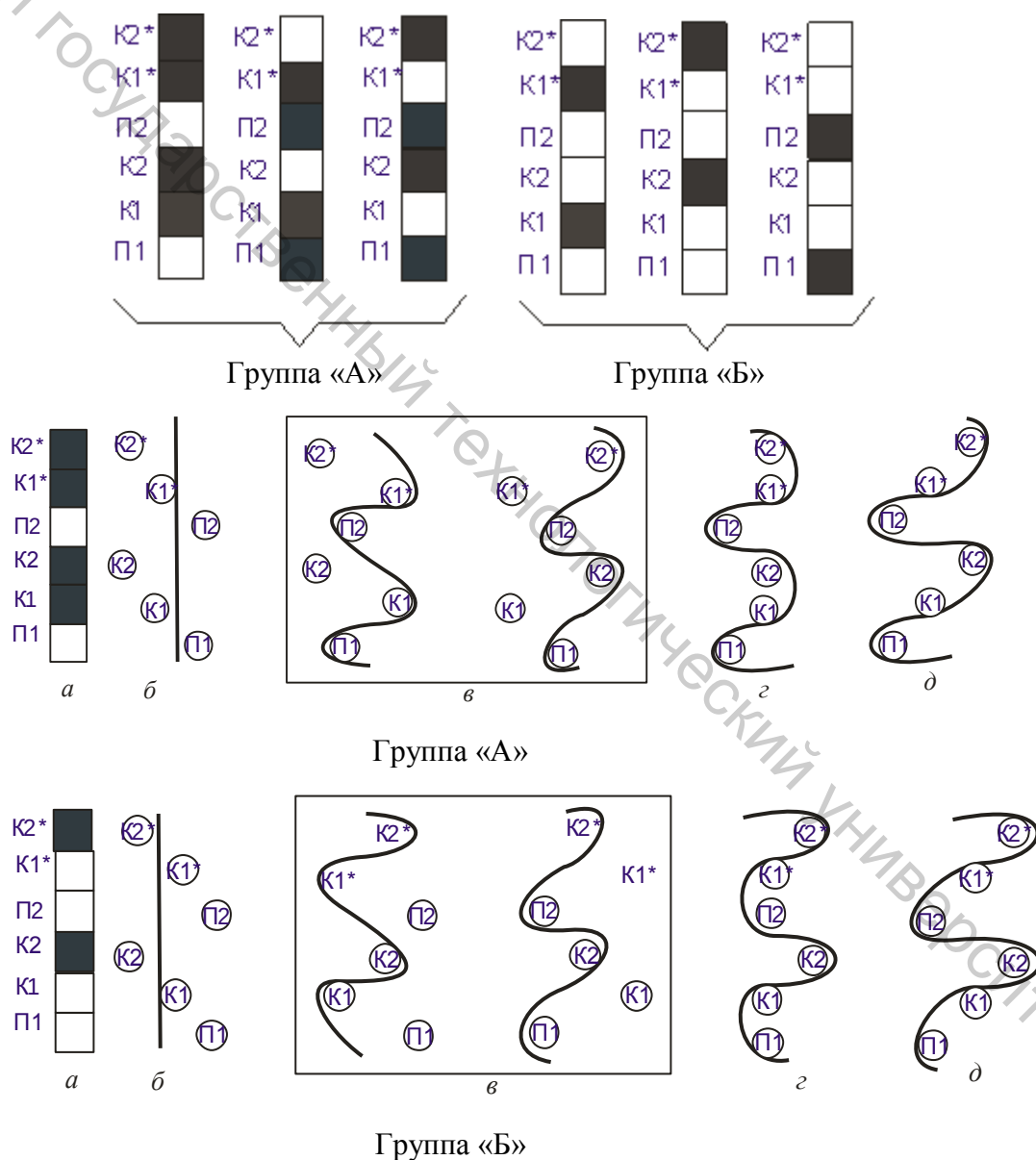


Рисунок 8 – Графические изображения нитей основы объединённой группа «А» и соответствующие им продольные разрезы

$$A_{oK1(A\%)} = \frac{2 \sqrt{\left(\frac{5R_y}{2P_y}\right)^2 + \left(d_{y1K1} + \frac{d_{os}}{2}\right)^2} - \frac{5R_y}{P_y}}{2 \sqrt{\left(\frac{5R_y}{2P_y}\right)^2 + \left(d_{y1K1} + \frac{d_{os}}{2}\right)^2}} \cdot 100, \% \quad (4)$$

где d_{os} – фактический диаметр нитей основы по вертикали, мм;
 d_{y1K1} – фактический диаметр коренного утка в ткани при пересечении его с основой K1, мм.

Графические изображения и возможные продольные разрезы нитей, принадлежащих объединённой группе «В», приведены на рисунке 9.

Детальный анализ продольных разрезов показал, что наиболее характерным из них является разрез вида (в). Уработка нитей, соответствующих данному разрезу, определяется по формуле

$$A_{oK3(B\%)} = \frac{\sqrt{d_{os}^2 + d_{y1K3}^2} - d_{os}}{\sqrt{d_{os}^2 + d_{y1K3}^2 + \frac{5R_y}{P_y}} - d_{os}} \cdot 100, \% \quad (5)$$

где d_{y1K3} – фактический диаметр коренного утка в ткани при пересечении его с основой K3, мм.

В объединённой группе «Д» (рисунок 10) определено два вида продольных разрезов, к которым сводятся все остальные с точки зрения длины и, соответственно, уработки нити в пределах раппорта. Это разрезы вида (б) и (в).

Формулы уработки этих нитей имеют вид:

$$A_{o\P(D\%)} = \frac{\sqrt{(5R_y/P_y)^2 + (d_{y1\P} + d_{y2\P} + d_{os})^2} - 5R_y/P_y}{\sqrt{(5R_y/P_y)^2 + (d_{y1\P} + d_{y2\P} + d_{os})^2}} \cdot 100, \% \quad (6)$$

где $d_{y1\P}$ – фактический диаметр коренного утка в ткани при пересечении его с основой П, мм; $d_{y2\P}$ – фактический диаметр прижимного утка в ткани при пересечении его с основой П, мм.

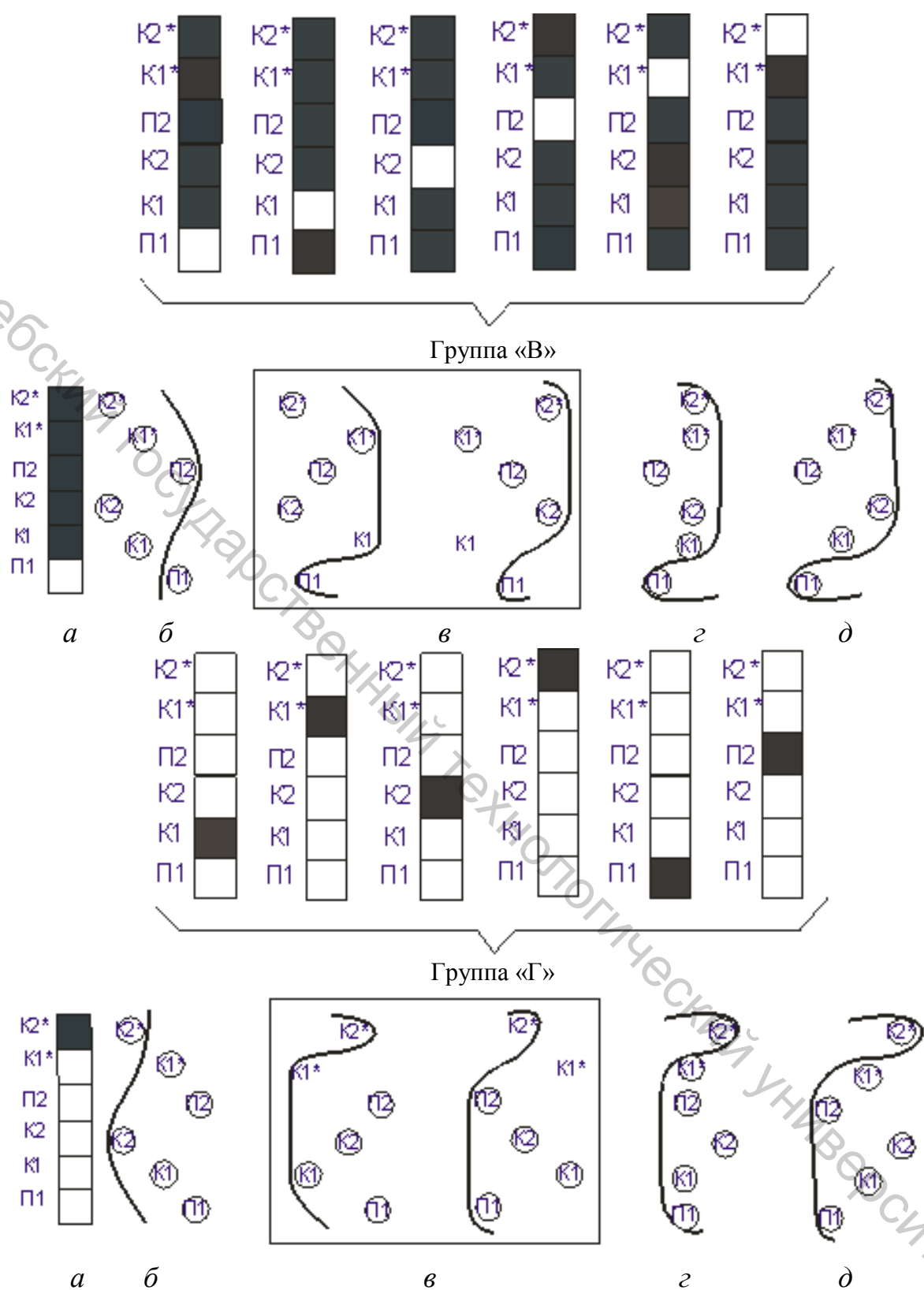


Рисунок 9 – Объединённая группа «В», графические изображения нитей (а) и продольные разрезы (б – г) основного гобелена

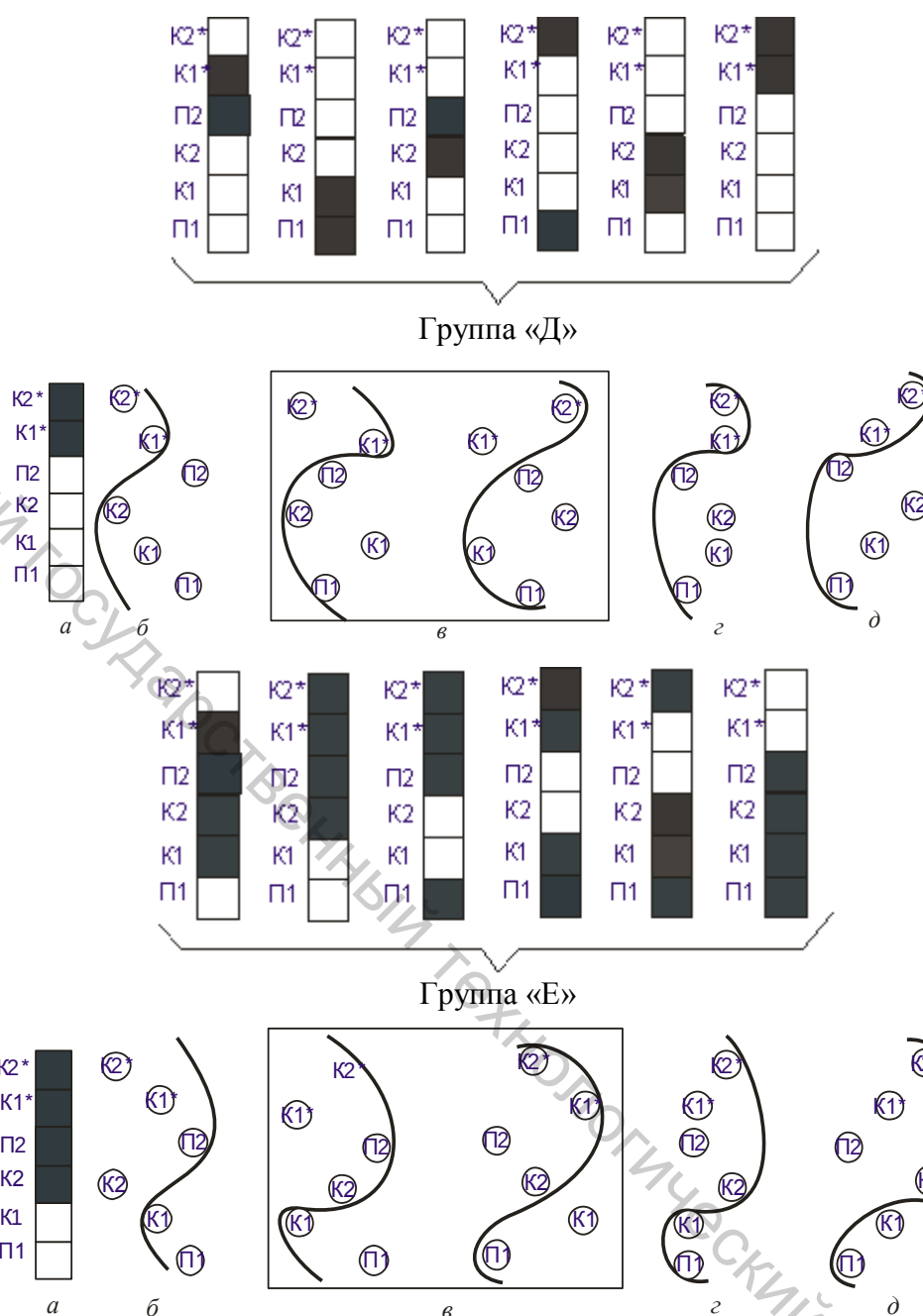


Рисунок 10 – Объединённая группа «Д», графические изображения нитей (а) и продольные разрезы (б – д) основного гобелена

$$A_{oK2(Д''с)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{5R_y}{P_y}\right)^2 + \left(\frac{d_{y1K2}}{2} + d_{y2K2} + d_{os}\right)^2} - \frac{5R_y}{P_y}}{\sqrt{\left(\frac{5R_y}{P_y}\right)^2 + \left(\frac{d_{y1K2}}{2} + d_{y2K2} + d_{os}\right)^2}} \cdot 100, \% \quad (7)$$

где d_{y1K2} – фактический диаметр коренного утка в ткани при пересечении его с основой K2, мм; d_{y2K2} – фактический диаметр прижимного утка в ткани при пересечении его с основой K2, мм.

Графические изображения и продольные разрезы нитей объединённой группы «Ж» представлены на рисунке 11.

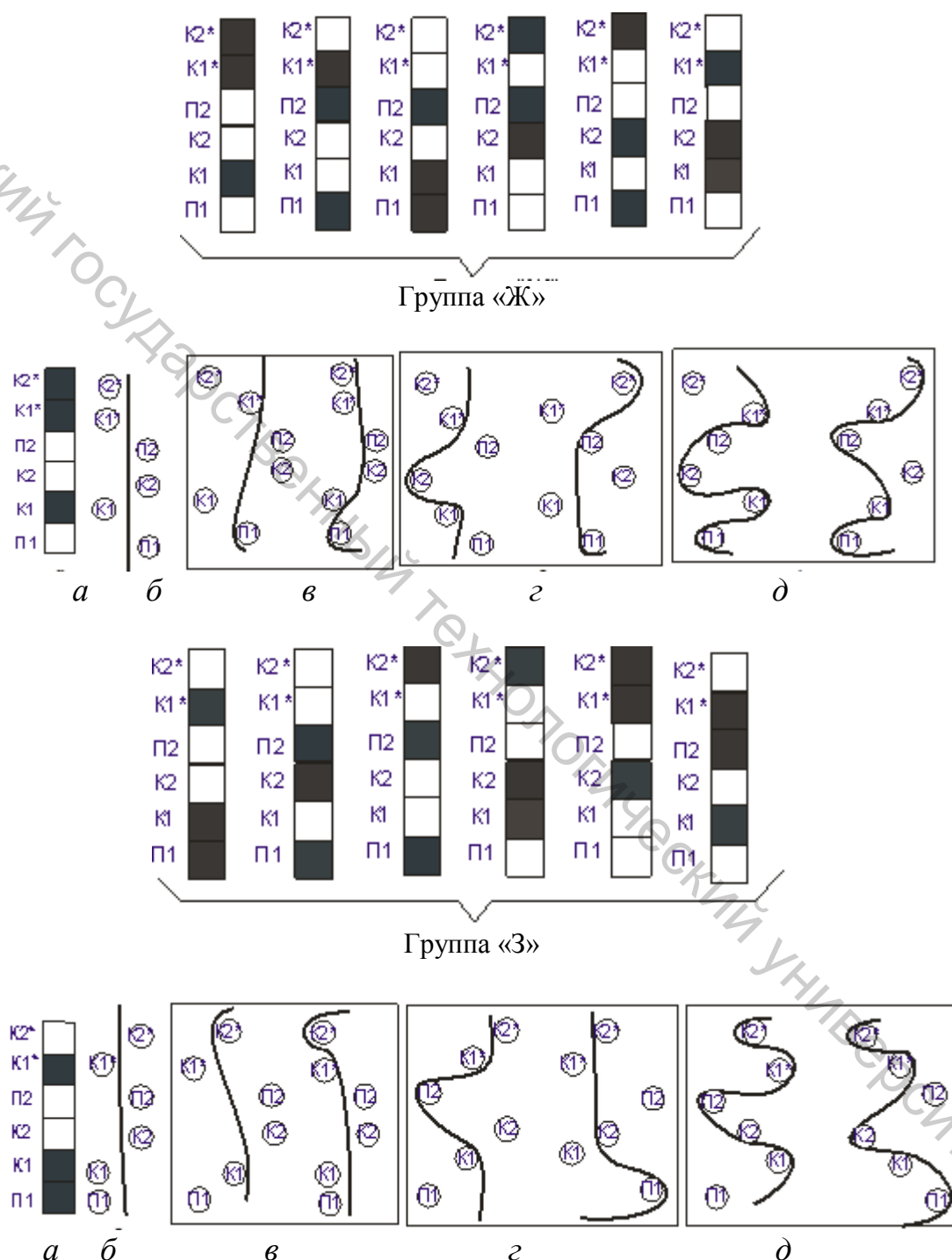


Рисунок 11 – Графические изображения нитей объединённой группы «Ж» (а) и продольные разрезы (б – г) основного гобелена

Математические зависимости уработки нитей наиболее характерных разрезов группы имеют вид:

$$A_{o\Pi(K\%)} = \frac{\frac{\pi(d_{y1\Pi} + d_{oe})}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_{y2\Pi} + d_{oe}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{oe}}{2}\right)^2}}{\frac{\pi(d_{y1\Pi} + d_{oe})}{2} + \sqrt{\left(\frac{d_{y2\Pi} + d_{oe}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{oe}}{2}\right)^2} + \sqrt{d_{oe}^2 + \left(\frac{10R_y/P_y - 2d_{y1\Pi} - 3d_{oe} - d_{y2\Pi}}{2}\right)^2} - \frac{5R_y}{P_y}} \cdot 100, \% \quad (8)$$

$$A_{oK1(K\%)} = \frac{\frac{\pi(d_{y2K1} + d_{y1K1} + 2d_{oe})}{8} + \sqrt{\left(\frac{d_{y2K1} + d_{oe}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{oe}}{2}\right)^2}}{\frac{\pi(d_{y2K1} + d_{y1K1} + 2d_{oe})}{8} + \sqrt{\left(\frac{d_{y2K1} + d_{oe}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{oe}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{d_{oe}}{2} + d_{y1K1}\right)^2 + \left(\frac{5R_y}{P_y} - \frac{3d_{y2K1} + d_{y1K1}}{4} - d_{oe}\right)^2} - \frac{5R_y}{P_y}} \cdot 100, \% \quad (9)$$

где d_{y2K1} – фактический диаметр прижимного утка в ткани при пересечении его с основой K1, мм.

На рисунках 12 – 15 представлены графические изображения (а) и возможные продольные разрезы (б, в, г) для основных нитей, принадлежащих группам нитей смешанного гобелена. Все группы проанализированы с точки зрения изменения уработки основы в зависимости от её расположения в слоях; определено девять основных вариантов продольных разрезов, к которым можно свести все остальные, что позволит определять уработку любой нити в смешанном гобелене. Получены формулы (10 – 17) уработки нитей, принадлежащих характерным продольным разрезам.

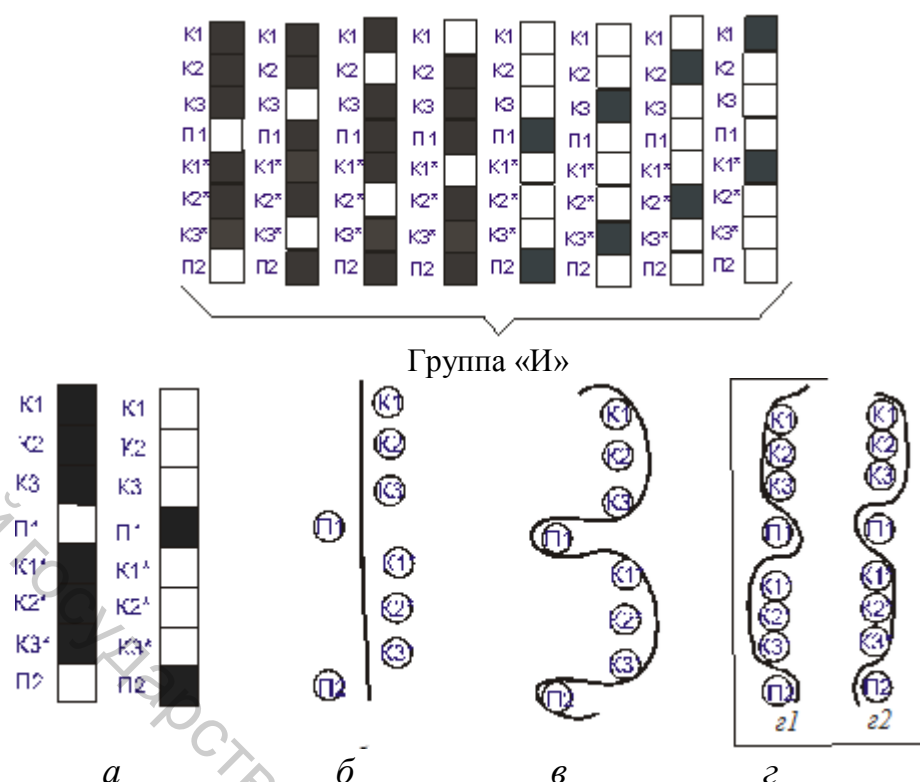


Рисунок 12 – Объединённая группа «И», графические изображения (а) и продольные разрезы (б – г) нитей основы смешанного гобелена

$$A_{oKI(И\%)} = \frac{\pi(d_{y1KI} + d_{os}) + 6d_{y2KI} +}{\pi(d_{y1KI} + d_{os}) + 6d_{y2KI} +} + 4 \sqrt{\left(\frac{5R_y}{2P_y} - \frac{3d_{y2KI} + d_{y1KI} + d_{os}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{y1KI} - d_{os}}{2}\right)^2} - \frac{10R_y}{P_y} \cdot 100, (10)$$

$$A_{oPI(И\%)} = \frac{\pi(d_{y1PI} + d_{os}) + 6d_{y2PI} +}{\pi(d_{y1PI} + d_{os}) + 6d_{y2PI} +} + 4 \sqrt{\left(\frac{5R_y}{2P_y} - \frac{3d_{y2PI} + d_{y1PI} + d_{os}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{os}}{2}\right)^2} - \frac{10R_y}{P_y} \cdot 100, \% (11)$$

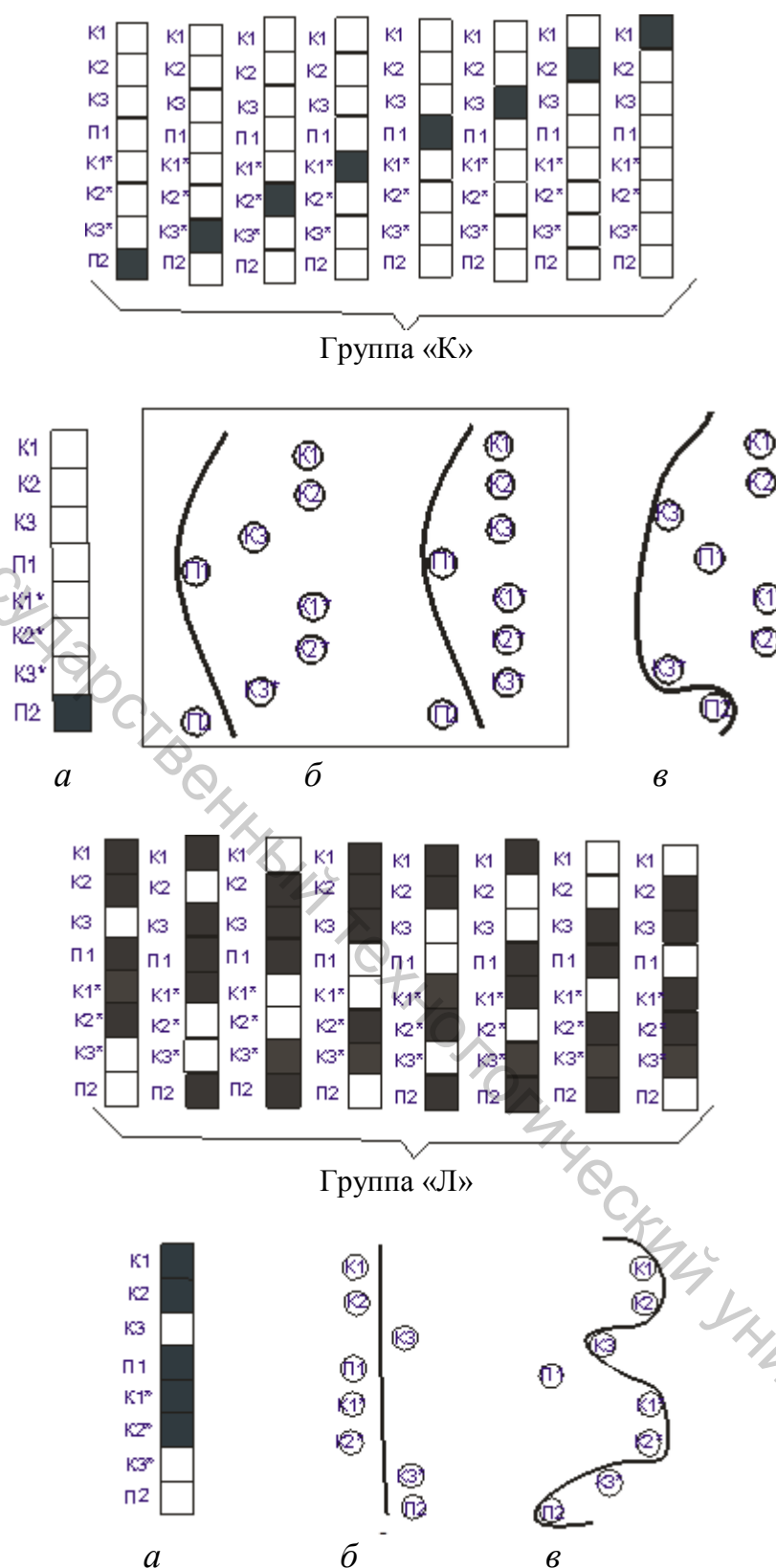
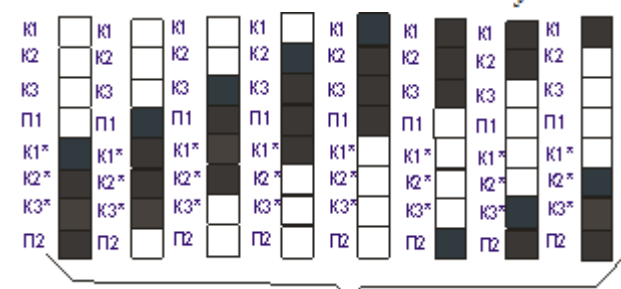


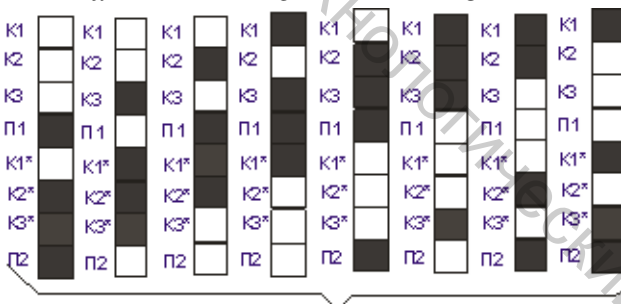
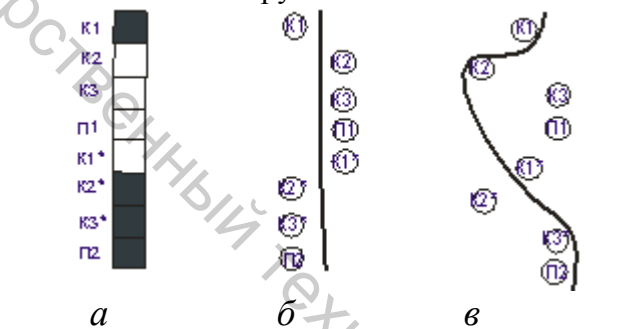
Рисунок 13 – Объединённые группы «К», «Л», графические изображения нитей (а) и продольные разрезы (б, в) смешанного гобелена

$$A_{oK2(K'6)} = \frac{\frac{\pi(d_{y1K2} + 4d_{os})}{2} - d_{y1K2} - 4d_{os}}{\frac{\pi(d_{y1K2} + 4d_{os})}{2} + \frac{10R_y}{P_y} - d_{y1K2} - 4d_{os}} \cdot 100, \% \quad (12)$$

$$A_{oK1(K'6)} = \frac{\frac{\pi(d_{y2K1} + 2d_{os})}{2} + d_{y1K1} - d_{y2K1} - 2d_{os}}{\frac{\pi(d_{y2K1} + 2d_{os})}{2} + d_{y1K1} + \frac{10R_y}{P_y} - d_{y2K1} - 2d_{os}} \cdot 100, \quad (13)$$



Группа «М»



Группа «Н»

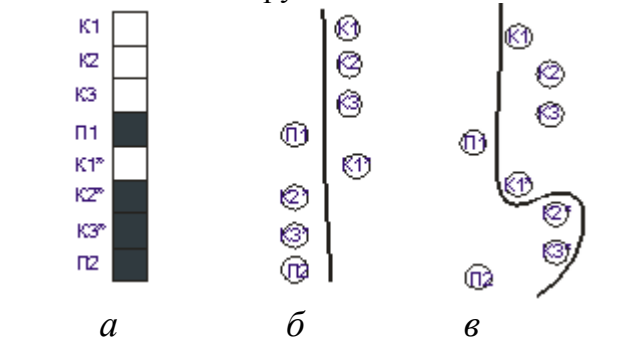
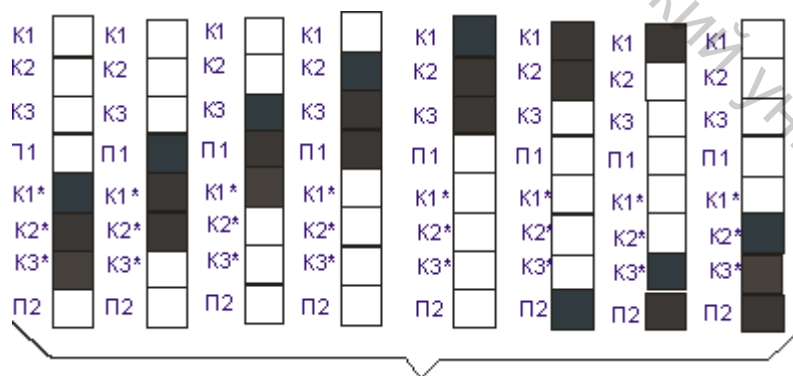


Рисунок 14 – Объединённые группы «М», «Н», графические изображения нитей (а) и продольные разрезы (б, в) смешанного гобелена

$$A_{o\Pi(\Pi\%)} = \frac{\frac{\pi(d_{y2\Pi}+d_{os})}{4} + \sqrt{\left(\frac{d_{y2\Pi}-d_{y1\Pi}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{y2\Pi}+d_{y1\Pi}}{2}\right)^2} + \frac{\pi(d_{y2\Pi}+d_{os})}{4} + \sqrt{\left(\frac{d_{y2\Pi}-d_{y1\Pi}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{y2\Pi}+d_{y1\Pi}}{2}\right)^2} + \sqrt{2\left(\frac{d_{os}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{10R_y}{P_y} - 3d_{os} - 5d_{y2\Pi} - d_{y1\Pi}\right)^2 + \left(d_{os} + \frac{d_{y2\Pi}}{2}\right)^2} + \sqrt{2\left(\frac{d_{os}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{10R_y}{P_y} - 3d_{os} - 5d_{y2\Pi} - d_{y1\Pi}\right)^2 + \left(d_{os} + \frac{d_{y2\Pi}}{2}\right)^2} + \sqrt{2\left(d_{os} + \frac{d_{y2\Pi}}{2}\right)^2} + \sqrt{2\left(d_{os} + \frac{d_{y1\Pi}}{2}\right)^2} + 4d_{y2\Pi} \frac{10R_y}{P_y}}{\sqrt{2\left(d_{os} + \frac{d_{y2\Pi}}{2}\right)^2} + \sqrt{2\left(d_{os} + \frac{d_{y1\Pi}}{2}\right)^2} + 4d_{y2\Pi}} \cdot 100, \% \quad (14)$$

$$A_{o\Pi(M\%)} = \frac{\sqrt{4\left(d_{y2\Pi}+d_{os}\right)^2 + \left(\frac{5R_y}{P_y} - d_{y2\Pi} - d_{y1\Pi}\right)^2} + \sqrt{4\left(d_{y2\Pi}+d_{os}\right)^2 + \left(\frac{5R_y}{P_y} - d_{y2\Pi} - d_{y1\Pi}\right)^2} + d_{y2\Pi} + d_{y1\Pi} \frac{5R_y}{P_y}}{\sqrt{4\left(d_{y2\Pi}+d_{os}\right)^2 + \left(\frac{5R_y}{P_y} - d_{y2\Pi} - d_{y1\Pi}\right)^2} + d_{y2\Pi} + d_{y1\Pi}} \cdot 100, \% \quad (15)$$



Группа «О»

Рисунок 15 – Объединённые группы «О», «П», графические изображения нитей (а) и продольные разрезы (б, в) смешанного гобелена

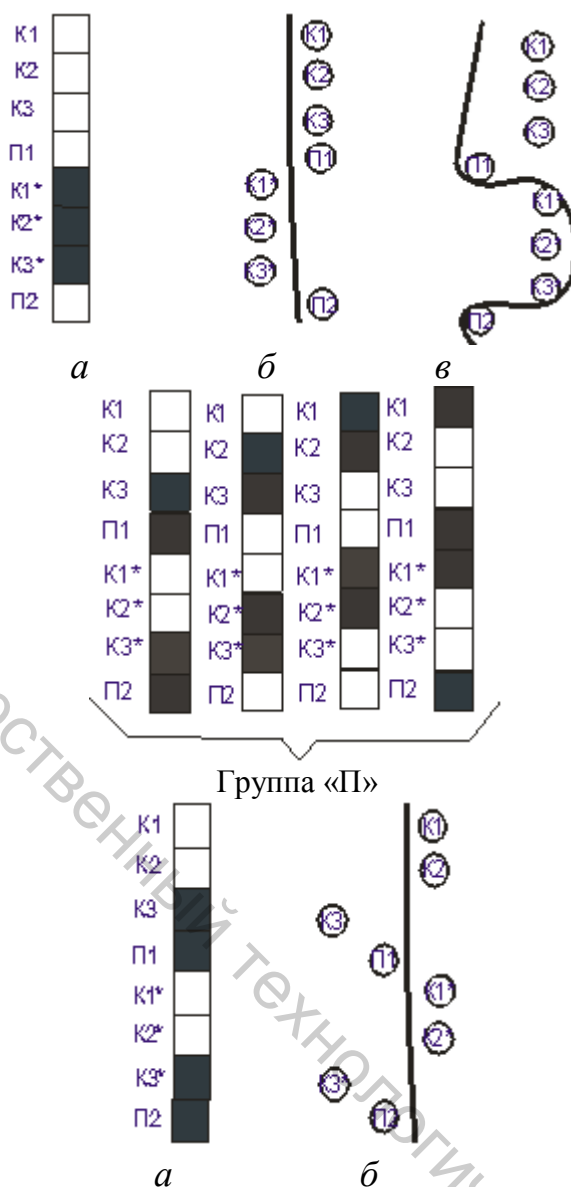


Рисунок 15 (продолжение) – Объединённые группы «О», «П», графические изображения нитей (а) и продольные разрезы (б, в) смешанного гобелена

$$A_{OP(O\%)} = \frac{\frac{\pi(d_{y2\Pi} + d_{y1\Pi} + 2d_{oe})}{4} - d_{y1\Pi}d_{oe}}{\frac{\pi(d_{y2\Pi} + d_{y1\Pi} + 2d_{oe})}{4} + \frac{5R_y}{P_y} - d_{y1\Pi}d_{oe}} \cdot 100, \% \quad (16)$$

$$A_{OP(H\%)} = \frac{\frac{\pi(d_{y2\Pi} + d_{y1\Pi} + 2d_{oe})}{2} + 3\sqrt{\left(\frac{d_{y2\Pi} + d_{oe}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{y2\Pi}}{2}\right)^2}}{\frac{\pi(d_{y2\Pi} + d_{y1\Pi} + 2d_{oe})}{2} + 3\sqrt{\left(\frac{d_{y2\Pi} + d_{oe}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{y2\Pi}}{2}\right)^2}}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sqrt{\left(\frac{d_{y1\Pi} + d_{oe}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{y2\Pi}}{2}\right)^2 - \frac{5d_{y2\Pi}}{2} - \frac{3d_{y1\Pi}}{2} - 4d_{oe}} \cdot 100, \% (17) \\
 & + \sqrt{\left(\frac{d_{y1\Pi} + d_{oe}}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_{y2\Pi}}{2}\right)^2 + \frac{10R_y}{P_y} - \frac{5d_{y2\Pi}}{2} - \frac{3d_{y1\Pi}}{2} - 4d_{oe}} \\
 A_{oKI(\Pi\%)} = & \sqrt{\left(\frac{d_{oe}}{2} - d_{y2KI} + d_{y1KI}\right)^2 + \left(\frac{5R_y}{P_y} - \frac{3d_{oe} + d_{y1KI}}{2} - 2d_{y2KI}\right)^2} + \\
 & \sqrt{\left(\frac{d_{oe}}{2} - d_{y2KI} + d_{y1KI}\right)^2 + \left(\frac{5R_y}{P_y} - \frac{3d_{oe} + d_{y1KI}}{2} - 2d_{y2KI}\right)^2} + \\
 & + \frac{\pi(d_{y1KI} + d_{y2KI} + 3d_{oe})}{4} + 1,5d_{y2\Pi} \frac{5R_y}{P_y} \cdot 100, \% (18) \\
 & + \frac{\pi(d_{y1KI} + d_{y2KI} + 3d_{oe})}{4} + 1,5d_{y2\Pi}
 \end{aligned}$$

Теоретическая систематизация взаимных расположений нитей в гобеленовых тканях позволила определить 16 вариантов продольных разрезов нитей, отличающихся друг от друга уработкой: 7 – для основного гобелена и 9 – для смешанного.

Определено, что разница максимального и минимального значения уработки в пределах раппорта переплетений основного гобелена составляет от 1,8 до 13 %, что может вызывать затруднения при работе станка с одного навоя, а именно – остановки, связанные с провисанием нитей основы, имеющих меньшую уработку. Распределение цветовых эффектов жаккардового рисунка в этом случае необходимо продумывать с учётом разницы уработки нитей в слоях в различных переплетениях. Это занимает существенное количество времени.

Разница между максимальным и минимальным значением уработок нитей основы в пределах раппорта переплетений смешанного гобелена составляет от 0,5 до 2,8 %, что является допустимым для нитей, навитых на один ткацкий навой.

Для определения уработки нитей на участке переплетения основного или смешанного гобеленов необходимо выполнить действия:

- Построить рисунок исследуемого переплетения и продольный разрез ткани.
- Определить принадлежность графического изображения отдельных нитей и соответствующих им разрезов выделенным группам.
- Определить линейную плотность и сырьевой состав (коэффициент сырьевого состава), найти диаметры основы и утка на паковке по формуле Ашенхерста.

$$d_n = 0,1 C \sqrt{0,1 T}, \text{ мм}, \quad (19)$$

где C – коэффициент, зависящий от сырьевого состава волокнистого материала, структуры нити и способа её получения; T – линейная плотность нити, текс.

- Определить форму поперечного сечения нитей основы и утка, выбрав коэффициенты деформации нитей при их пересечении с основами каждого свода, рассчитать фактические диаметры нитей в ткани по формулам

$$d_{ос} = d_{он} \eta_{ос}, \text{ мм}, \quad (20)$$

$$d_{оз} = d_{он} \eta_{оз}, \text{ мм}, \quad (21)$$

$$d_y = d_{yn} \tau_y, \text{ мм}, \quad (22)$$

где $\eta_{ос}$ – коэффициент, учитывающий деформацию поперечного сечения нити основы в ткани по вертикали; $d_{он}$, d_{yn} – диаметры нитей основы и утка на паковке, определяемые по формуле (19), мм; $\eta_{оз}$ – коэффициент, учитывающий деформацию поперечного сечения нити основы в ткани по горизонтали; τ_y – коэффициент, учитывающий деформацию поперечного сечения нити утка в ткани.

При расчёте необходимо учесть следующее:

- указанные формулы используются без изменения, если в ткани нити основы имеют эллипсообразную форму поперечного сечения, а нити утка – круглую;

- если форма поперечного сечения нитей обеих систем – эллипс, то при расчёте диаметра утка в ткани (d_y) значение коэффициента деформации τ_y , подставляемое в формулу (19), определяется как среднее между коэффициентами деформации нитей по вертикали и по горизонтали:

$$\tau_y = (\eta_{yв} + \eta_{yг})/2; \quad (23)$$

- если форма поперечного сечения нитей обеих систем – круг, то при расчёте диаметров основы по математическим зависимостям (20), (21) принимается равенство коэффициентов смятия по горизонтали и по вертикали ($\eta_{ос} = \eta_{оз} = \tau_o$).

- При использовании указанных формул необходимо подставлять диаметры уточных нитей с индексами, соответствующими обозначению определяемой нити основы.

- Рассчитать значения уработок нитей по формулам, соответствующим найденному виду продольного разреза.

Разработанная методика определения уработки нитей основы в основном и смешанном гобеленах легла в основу технологии тканей новых гобеленовых структур, отличающейся от существующих использованием одного навоя в заправке ткацкого станка, благодаря наличию в структуре тканей гобеленовых переплетений нового вида, подбор которых производится с учётом выравнивания уработки нитей в слоях. Данная технология обеспечивает выпуск конкурентоспособных тканей широкого ассортимента из нитей и пряжи различного сырьевого состава, позволяет снизить обрывность нитей основы в ткачестве, повысить производительность ткацкого оборудования, сократить длительность процесса проектирования.

Выводы

1. Разработаны высокотехнологичные гобеленовые переплетения нового вида – смешанные гобелены, позволяющие вырабатывать гобеленовые ткани с использованием одного ткацкого навоя в заправке станка благодаря равномерным значениям уработок нитей основы всех систем.

2. Установлено влияние возможных взаимных расположений нитей основы и утка в тканях сложного строения на уработку нитей основы с помощью полученных математических моделей, что позволяет прогнозировать значения уработки нитей основы в основном и смешанном гобеленах, оптимизировать структуру ткани и тем самым снизить обрывность основных нитей в ткачестве, повысить производительность ткацкого станка.

3. Произведена систематизация продольных разрезов основного и смешанного гобеленов, которая легла в основу разработанной методики определения уработки нитей основы в основном и смешанном гобеленах.

4. Разработан универсальный программный продукт, позволяющий рассчитывать значения уработки нитей основы в зависимости от структурных характеристик ткани, проектировать гобеленовые ткани различного сырьевого состава, свойств и параметров строения с выровненными значениями уработок нитей по слоям.

5. Методика и программный продукт успешно апробированы при разработке и изготовлении гобеленовых тканей с использованием ткацких станков различных конструкций.

ГЛАВА 5. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ПРЯЖИ

Производство комбинированных электропроводящих пряжи и нитей является одним из наиболее развивающихся и обширных видов современного производства текстильных материалов. Необходимость разработки этих материалов была вызвана новыми требованиями, выдвигаемыми со стороны ряда отраслей техники, а также недостатками, присущими традиционным проводящим металлам и их сплавам. На основе электропроводящей пряжи можно получить экранирующие текстильные изделия любой формы, защитную спецодежду, обладающую высокой удельной проводимостью, предназначенную для людей, которые работают с токами высокой частоты, и многие другие изделия.

В связи с этим актуальной научно-технической задачей является разработка новых технологических процессов производства комбинированной электропроводящей пряжи. Новый ассортимент электропроводящей пряжи, а также текстильные материалы на её основе могут использоваться в медицине, электронной, оборонной и других отраслях промышленности. За счет оптимального подбора сырья снижаются производственные издержки по сравнению с некоторыми зарубежными аналогами.

Успешная реализация данной работы позволит производить новые виды материалов, которые не выпускаются в Республике Беларусь, и начать выпуск продукции, пользующейся спросом на внутреннем и внешнем рынках.

Разработка технологии комбинированной электропроводящей пряжи основывалась на результатах теоретических и экспериментальных исследований с использованием методов математического моделирования, планирования и программирования оптимизации объектов и процессов.

Проведен анализ литературных источников и патентных материалов по вопросу получения комбинированных электропроводящих волокон, нитей, пряжи и тканей.

Установлено, что производством комбинированных электропроводящих пряжи, нитей и тканей занимаются ученые США, Германии, Японии и России. Для Республики Беларусь данный рынок является неосвоенным.

В ходе литературного анализа определен ассортимент изделий, вырабатываемых из комбинированных электропроводящих пряжи и нитей: ткани специального назначения, специальная одежда для

обогрева, изделия для защиты от ультрафиолетовых лучей, ткани медицинского назначения и экранирования (отражения) СВЧ-волн, ткани для нагрева и т. д.

Направление производства комбинированной электропроводящей пряжи является новым, малоизученным с теоретической точки зрения и перспективным для использования и внедрения на предприятиях Республики Беларусь.

Для производства комбинированной электропроводящей пряжи линейной плотности 40 текс в качестве исходного сырья используются хлопковые волокна и медная микропроволока диаметром 0,05 мм линейной плотности 18 текс в качестве электропроводящего компонента, для комбинированной электропроводящей пряжи линейной плотности 60 текс – арселонное волокно и медная микропроволока [1]. Такой выбор обусловлен ассортиментом изделий, в который будет перерабатываться электропроводящая пряжа: ткани для изготовления специальной термозащитной, трудногорючей, экранирующей и антистатической одежды (для пожарных, спасателей, аппаратчиков), фильтровальных полотен для высокотемпературных газов и средств индивидуальной защиты (костюмов, перчаток, рукавиц) [2].

Физико-механические и электрические свойства комбинированной электропроводящей пряжи, полученной при оптимальных параметрах работы оборудования, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические и электрические свойства комбинированной электропроводящей пряжи

Наименование показателя	Комбинированная хлопкосодержащая электропроводящая пряжа	Комбинированная арселонсодержащая электропроводящая пряжа
Линейная плотность, текс	40	60
Абсолютная разрывная нагрузка нити, сН	336	520
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	9	8
Разрывное удлинение, %	8,2	14,5
Стойкость к многократному изгибу, циклы	9000 – 10000	9000 – 10000
Стойкость к истиранию, циклы	500 – 550	600 – 640
Удельное поверхностное электрическое сопротивление пряжи, Ом	$0,78 \cdot 10^2$	$0,62 \cdot 10^2$

На основе электропроводящей пряжи средней линейной плотности можно получить текстильные материалы, обладающие экранирующими и антистатическими свойствами, из которых изготавливается защитная спецодежда, обладающая высокой удельной проводимостью, для людей, работающих в условиях повышенной опасности: в нефтеперерабатывающей отрасли, на газо- и бензозаправочных станциях, в условиях мощного электромагнитного излучения.

Использование натуральных и химических волокон позволяет получать технические и бытовые ткани с широким диапазоном свойств.

Разработанный ассортимент комбинированной электропроводящей пряжи средней линейной плотности направлен на расширение ассортимента изделий, обладающих антистатическими, экранирующими и термостойкими свойствами. Комбинированная электропроводящая пряжа средней линейной плотности перерабатывалась в технические ткани для пошива специальной одежды работников буровых, нефтегазодобывающих и перерабатывающих компаний, а также других производств, где недопустимо накопление статического электричества на спецодежде и вследствие этого возникновение искры.

В производственных условиях ОАО «БПХО» осуществлялась опытная наработка комбинированной электропроводящей пряжи средней линейной плотности по кардной системе прядения с использованием модернизированной пневмомеханической прядильной машины ППМ-120МС при оптимальных технологических параметрах заправки оборудования [3]. Для производства комбинированной электропроводящей пряжи средней линейной плотности, соответствующей показателям ТНПА (технических нормативных правовых актов), были разработаны и утверждены на ОАО «БПХО»: проект технических условий и технологические регламенты на разработанный ассортимент электропроводящей пряжи средней линейной плотности.

Наработка опытных вариантов тканей осуществлялась в производственных условиях ОАО «БПХО» при использовании комбинированной электропроводящей пряжи средней линейной плотности, полученной на модернизированной пневмомеханической прядильной машине ППМ-120МС при оптимальных параметрах технологического процесса. Технологические параметры пневмомеханической прядильной машины ППМ-120МС представлены в таблице 2.

Технологический процесс ткацкого производства должен обеспечивать минимально возможное количество приготовительных

операций, высокое качество выпускаемой продукции при высокой производительности оборудования и минимальном количестве отходов. Выработка ткани на ткацком станке является заключительным этапом ткацкого производства.

Таблица 2 – Технологические параметры машины ППМ-120МС для производства комбинированной электропроводящей пряжи средней линейной плотности

	Хлопкосодержащая электропроводящая пряжа Т = 40 текс	Арселонсодержащая электропроводящая пряжа Т = 60 текс
Крутка, кр./м	1050	990
Скорость выпуска, м/мин	38	42,1
Частота вращения прядильной камеры, мин ⁻¹	40000	40000
Общая вытяжка	160	119

При переработке комбинированной электропроводящей пряжи процесс шлихтования не применяли, так как пряжа обладает высокой разрывной нагрузкой и износостойкостью.

На основании проведенных предварительных исследований и с учетом рекомендаций специалистов ткацкого производства ОАО «БПХО» г. Барановичи при выработке ткани был принят ленточный способ снования. Этот способ состоит из двух операций: последовательного наматывания лент на сновальный барабан и перегонки всех лент с барабана на ткацкий навой. Преимуществом ленточного способа снования является сокращение отходов и получение готового ткацкого навоя с заданным числом нитей основы. Для снования основы выбираем ленточную машину «Текстима». Данное оборудование обеспечивает бесперебойный технологический процесс, высокое качество выпускаемой продукции с большой производительностью и минимальное количество отходов. Для пробирания основ пряжи используем проборный станок П-175, который производит проборку в ламели, ремизы и бердо. Для привязывания основ используем узловязальную машину УП-5, которая связывает пряжу и нити всех видов в диапазоне от 0,8 до 500 текс.

Уточные нити после перематывания поступают сразу на ткацкий станок.

Учитывая особенности переработки комбинированной электропроводящей пряжи, разработан технологический процесс ткацкого производства, представленный на рисунке 1.

Ткань, заправочный рисунок переплетения которой представлен на рисунке 2, вырабатывалась со 100 % вложением комбинированной

хлопкосодержащей электропроводящей пряжи линейной плотности 40 текс в основе и утке. Для ткани, заправочный рисунок переплетения которой представлен на рисунке 3, в качестве основной и уточной нити использовалась арселоновая пряжа линейной плотности 40 текс, а комбинированная арселонсодержащая электропроводящая пряжа линейной плотности 60 текс прокладывалась через 3 см по утку. Заправочные параметры тканей представлены в таблице 3.

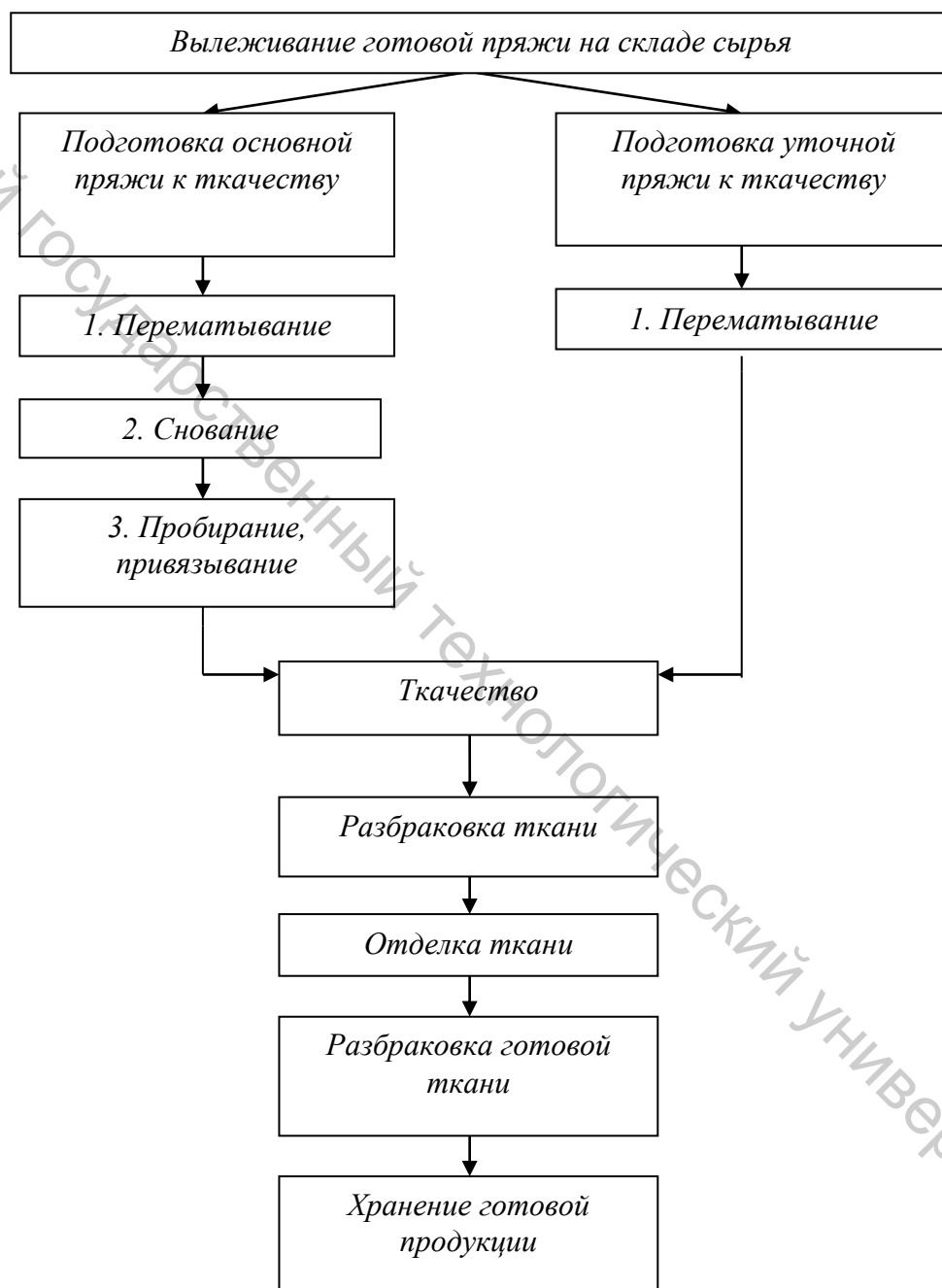


Рисунок 1 – Схема технологического процесса ткацкого производства

На производство экранирующей ткани из комбинированной хлопкосодержащей электропроводящей пряжи линейной плотности

40 текс был разработан и утвержден на ОАО «БПХО» проект технических условий.

Таблица 3 – Основные параметры заправочного расчета образцов тканей, выработанных на ОАО «БПХО»

Параметр	Полоска	Сплошная
Вид пряжи: основа уток	арселон электропроводящая пряжа, арселон	комбинированная электропроводящая пряжа
Линейная плотность пряжи, текс:		
основа	40	40
уток	40	40
электропроводящая	60	40
Линейная плотность, кромка, текс	40	40
Номер берда (количество зубьев на 10 см)	140	140
Ширина заправки по берду, см	160	159
Ширина суровой ткани, см	150	150
Переплетение	репс основной 2/2	полотняное
Проборка:		
- фон	рядовая	рядовая
Число нитей в зуб берда:		
- фон	2	2
- кромка	2	2
Число нитей:		
- фон	3745	3716
- всего	4839	4808
Плотность на 1 см:		
- по основе	28	25
- по утку	24	25
Число ремизок фона	4	4
Уработка, %:		
- по основе	4,4	5,3
- по утку	3,5	2,1

Для производства термостойкой антистатической ткани из арселоновой и комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжи средней линейной плотности был разработан и утвержден на ОАО «БПХО» проект технических условий.

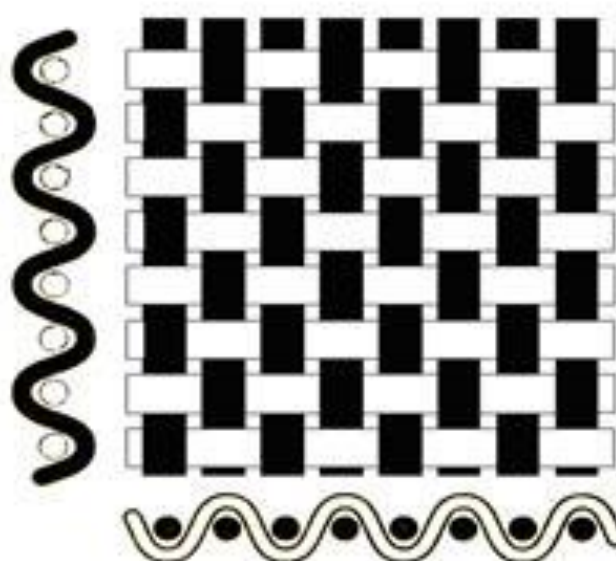


Рисунок 2 – Плотняное переплетение ткани из комбинированной хлопкосодержащей электропроводящей пряжи

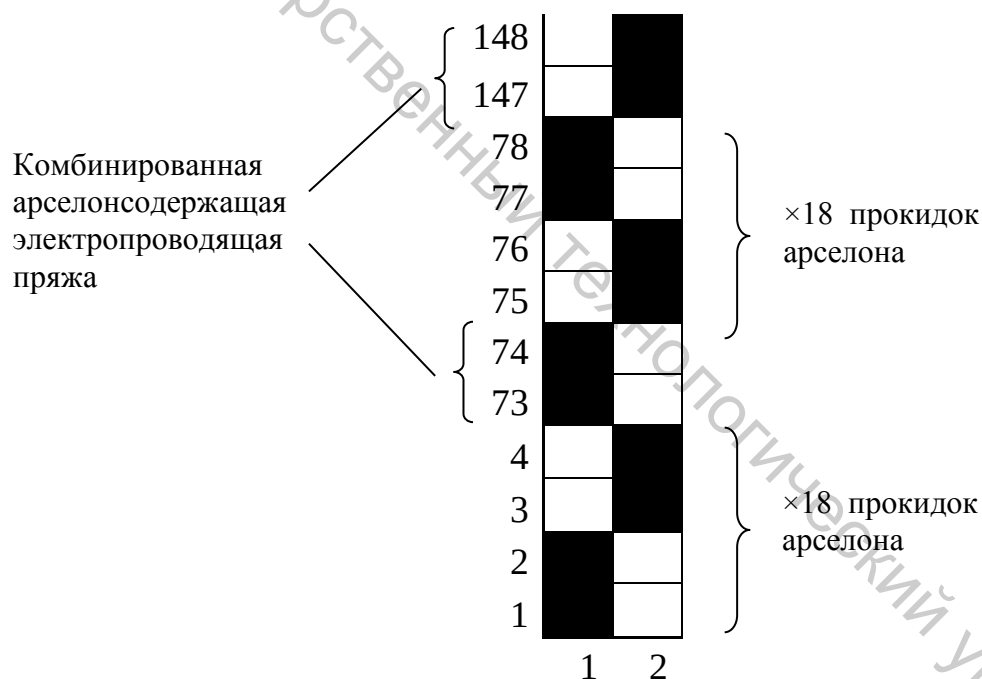


Рисунок 3 – Рисунок переплетения ткани репс 2/2 из арселоновой и комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжи

Наработанные ткани проверялись по стандартным методикам на физико-механические и электрофизические свойства [4–10]. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний физико-механических и электрофизических свойств опытного образца ткани с электропроводящей пряжей по основе и утку (25x10 см)

Показатели	Размерность	Полотно	Репс 2/2
Воздухопроницаемость	дм ³ /м ² ·с	340	380
Коэффициент вариации по воздухопроницаемости	%	4,89	3,65
Поверхностная плотность	г/м ²	208,2	228,8
Разрывная нагрузка полоски ткани 50x200 мм по основе	Н	332	545
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке	%	3,7	4,1
Разрывное удлинение полоски ткани 50x200 мм по основе	%	10,2	11,1
Коэффициент вариации по разрывному удлинению	%	2,63	2,38
Плотность ткани: по основе по утку	нит/дм	250,0 250,0	280,0 240,0
Удельное поверхностное электрическое сопротивление	Ом	2,2·10 ²	3,8·10 ⁵

В условиях аккредитованной лаборатории РУПП «БелГИМ» (г. Минск) на поверенной испытательной установке, схема которой представлена на рисунке 4, наработанная ткань полотняного переплетения исследовалась на способность экранировать (отражать) электромагнитные волны [11].

Ослабление электромагнитного излучения, вносимое образцом D , дБ, определялось в соответствии с формулой

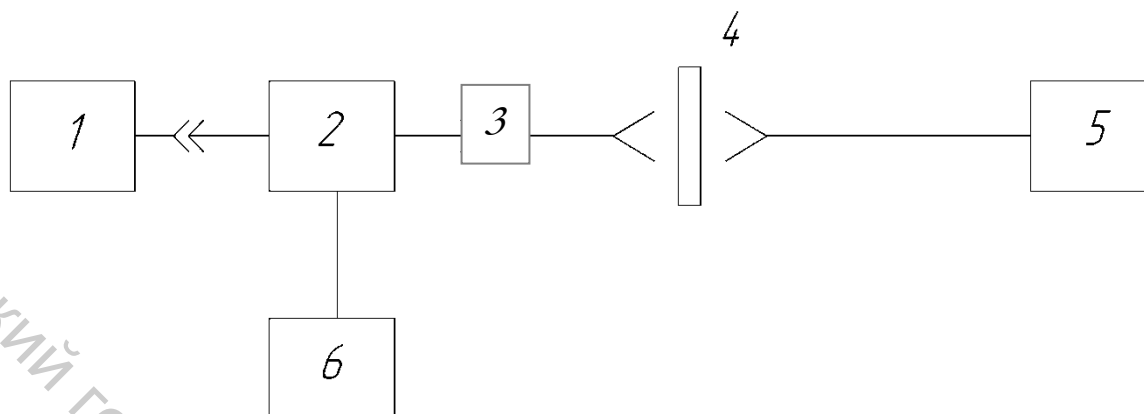
$$D = 10 \lg \frac{P_{изм}}{P_э}, \quad (1)$$

где $P_{изм}$ – измеренная плотность потока энергии, мкВт/см²; $P_э$ – эталонная плотность потока энергии, мкВт/см².

Ослабление электромагнитного излучения, вносимое образцом, σ , %, определялось с помощью формулы

$$\sigma = \frac{P_э - P_{изм}}{P_э} \cdot 100, \quad (2)$$

где $P_э$ – эталонный уровень мощности электромагнитного поля, мкВт;
 $P_{изм}$ – измеренный уровень мощности электромагнитного поля, мкВт.



1 – генератор сигналов высокочастотный; 2 – направленный ответвитель;
 3 – антенна, передающая П6-23М; 4 – рамка с исследуемой тканью; 5 – антенна
 эталонной установки П1-9; 6 – измеритель мощности МЗ-22А

Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки

Результаты изменения электромагнитного поля, вносимого образцом ткани, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты изменения электромагнитного поля, вносимого образцом ткани

Частота, ГГц	Эталонное электромагнитное поле		Электромагнитное поле за образцом	
	уровень мощности $P_э$, мкВт	плотность потока энергии $P_э$, мкВт/см ²	уровень мощности $P_{изм}$, мкВт	плотность потока энергии $P_{изм}$, мкВт/см ²
1	2	3	4	5
1,2	8860	33,18	21,5	0,08
2	7670	42,05	3,98	0,02
4	6460	48,03	5,5	0,04
5,64	467	8,65	1,16	0,04
8	1280	23,1	1,16	0,02
11,5	703	14,26	2,51	0,05

На рисунке 5 представлена графическая зависимость экранирования образцов тканей в % от частоты электромагнитных волн в гигагерцах, построенная на основании формулы 2.

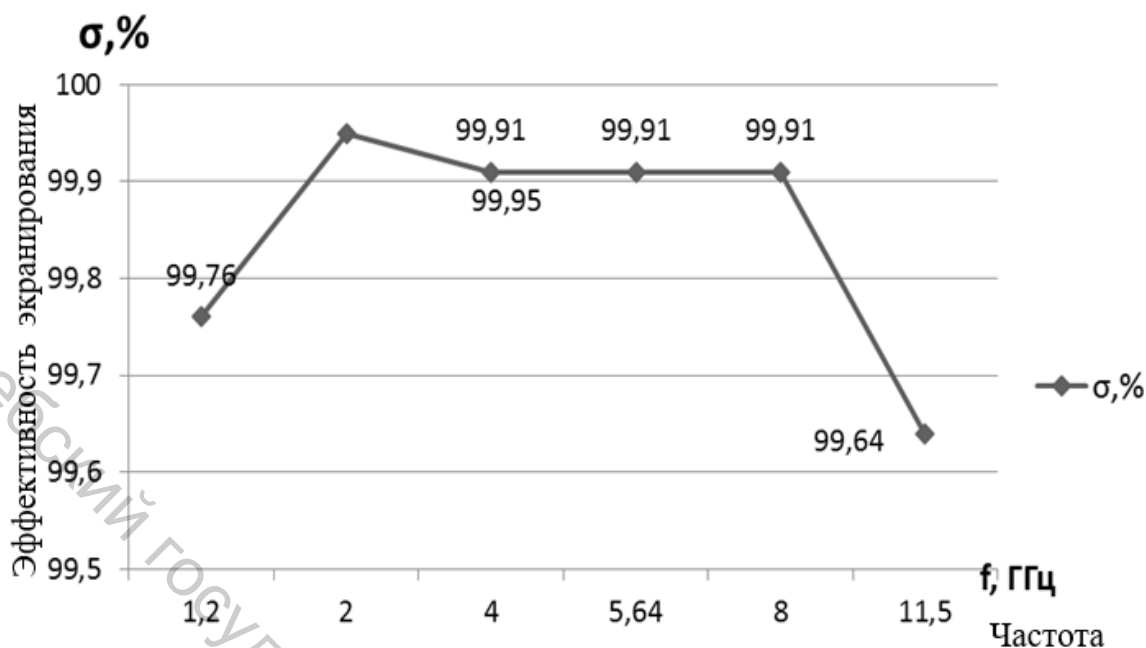


Рисунок 5 – Зависимость экранирования образцов тканей от частоты электромагнитных волн

Анализируя зависимость экранирования электромагнитного излучения от частоты электромагнитных волн, можно отметить, что образец экранирует электромагнитное излучение различных диапазонов частот, не пропуская более 99 % электромагнитных волн.

На рисунке 6 представлена графическая зависимость ослабления электромагнитного излучения, вносимого образцом ткани в дБ, от частоты электромагнитных волн в ГГц, построенная на основании формулы 1.

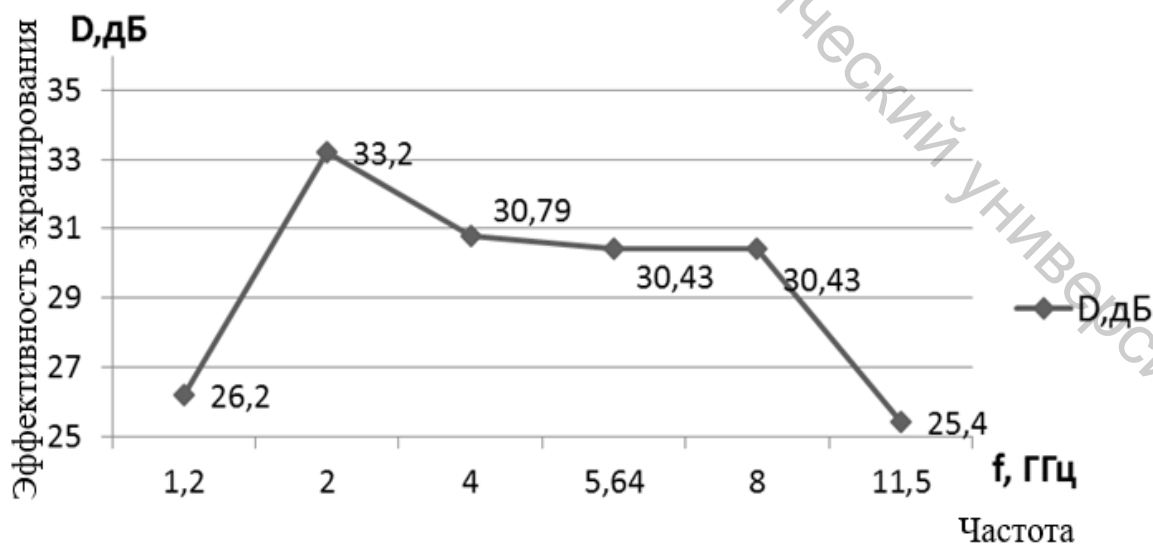


Рисунок 6 – Зависимость ослабления электромагнитного излучения от частоты электромагнитных волн, вносимого образцом ткани

При анализе графических зависимостей рисунков 5 – 6 установлено, что ослабление электромагнитного излучения, вносимое образцом ткани из электропроводящей пряжи, полученной на машине ППМ-120, на всех диапазонах превышает, рекомендуемое специалистами РУПП «БелГИМ» значение 25 дБ, следовательно, данные ткани можно использовать для изготовления экранирующих текстильных материалов.

Максимальное значение ослабления электромагнитного излучения образец ткани показал на частоте 2 ГГц. Эталонный уровень мощности ($P_{\text{э}}$) на частоте 2,0 ГГц составляет 7670 мкВт, а уровень мощности за образцом (P) – 3,98 мкВт. Следовательно, ослабление уровня мощности (P), вносимое данным образцом ткани на исследуемых диапазонах частот, составило 1927 раз.

В лаборатории входного контроля ОАО «КИМ» были проведены исследования электрофизических характеристик опытных образцов ткани из арселоновой и комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжи на удельное поверхностное сопротивление в соответствии с ГОСТ 19616 – 74 [9] и на уровень напряженности в соответствии с СанПиН 9-29.7 – 95 [10].

В зависимости от чередования арселонсодержащей электропроводящей пряжи выбирается определенный образец ткани, который удовлетворяет необходимому диапазону электрофизических характеристик по уровню напряженности электрического поля (наименьшее) и по удельному электрическому сопротивлению (наименьшее).

Проводился сравнительный анализ наработанных опытных образцов тканей с комбинированной арселонсодержащей пряжей с тканями такой же поверхностной плотности, но без электропроводящей пряжи по показателям удельного поверхностного сопротивления и уровня напряженности. Данные образцы ткани с помощью прибора ИЭСТП-2 [8] были исследованы на электрофизические характеристики.

Результаты исследования удельного электрического сопротивления образцов ткани представлены на рисунке 7.

При анализе диаграммы удельного электрического сопротивления установлено, что использование комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжи в структуре термостойкой арселоновой ткани приводит к снижению удельного электрического сопротивления на 9 порядков (с 10^{14} до 10^5 Ом). По результатам экспериментальных исследований установлено, что разработанная ткань с арселоновой и комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжей может использоваться для защитной спецодежды в местах, где ведется

работа с легковоспламеняющимися веществами и горюче-смазочными материалами, предохраняя человека от статического электричества.

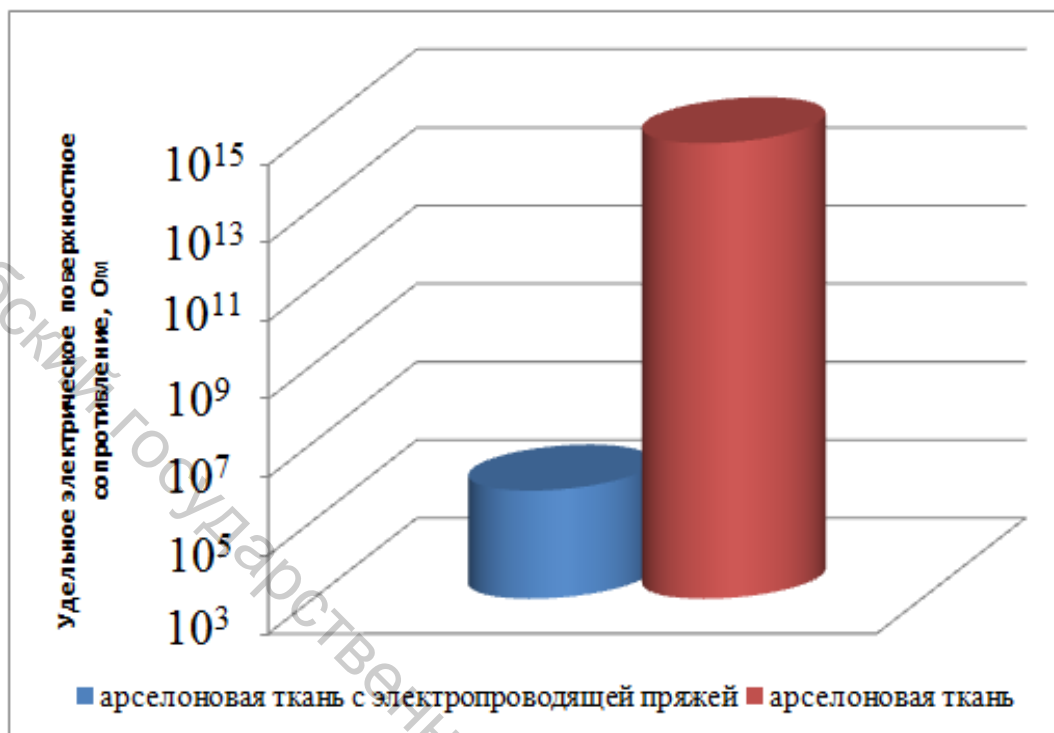


Рисунок 7 – Диаграмма удельного электрического сопротивления тканей

На основе литературного анализа было установлено, что необходимый уровень экранирования электромагнитного излучения для использования в военных, электронных, бытовых и других отраслях составляет приблизительно 99,8 – 99,99 %. Разработка тканей с такой эффективностью экранирования была бы эффективным решением для защиты человека и электронных приборов от излучения и электромагнитных помех.

Для наработки тканей специального назначения с экранирующими свойствами использовалась комбинированная хлопкосодержащая электропроводящая пряжа, содержащая в своей структуре медную микропроволоку диаметром 0,05 мм.

В экспериментальной лаборатории кафедры «Ткачество» УО «ВГТУ» и производственных условиях ОАО «БПХО» из комбинированной хлопкосодержащей электропроводящей пряжи были наработаны опытные образцы экранирующих тканей специального назначения следующих переплетений: саржа 3/1, сатин и полотняное переплетение с различной плотностью нитей по основе и утку. Физико-механические свойства экспериментальных образцов тканей специального назначения представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Физико-механические свойства экспериментальных образцов тканей специального назначения

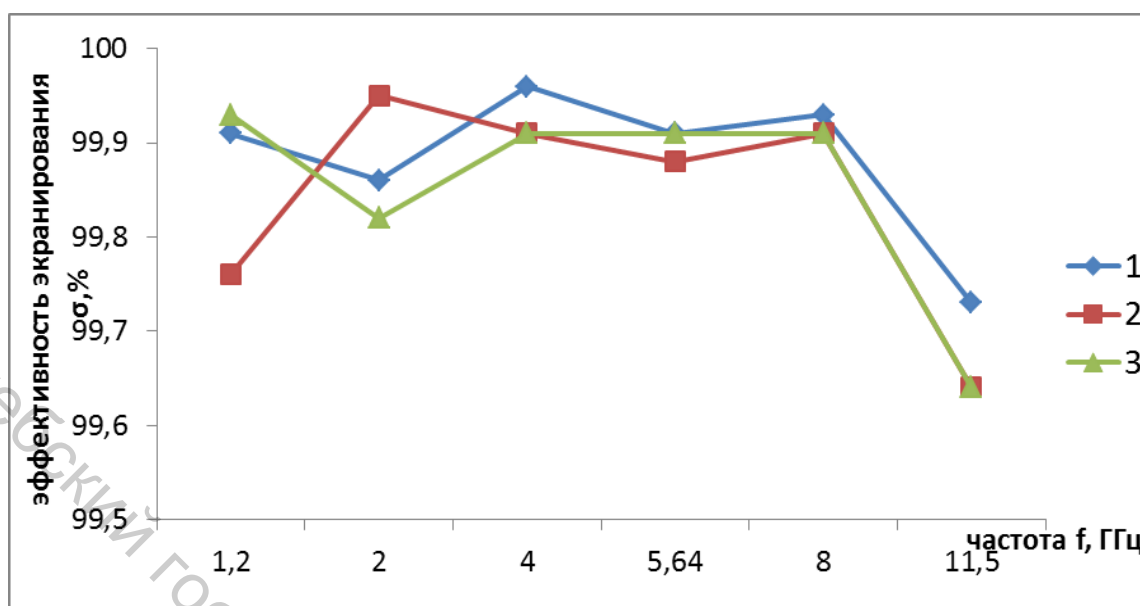
Наименование параметра		Единица измерения	Ткань, полученная с использованием электропроводящей пряжи			
1		2	3	4	5	6
Номер образца ткани			1	2	2А	3
Переплетение			полотняное	саржа 3/1		неправильный шестинитный сатин
Линейная плотность пряжи		текс	40	40		40
Плотность суровой ткани по основе		н/10см	250	250	280	250
Плотность суровой ткани по утку		н/10см	240	240	260	250
Разрывная нагрузка полоски ткани 50*200мм	-по основе	Н	1543,1	1153,6	1154,2	1619,5
	-по утку	Н	620,5	480,7	487,3	634,8

Для определения зависимости эффективности экранирования от плотности и различного переплетения ткани изучены удельные объемные электрические сопротивления тканей с медной микропровоолокой с разными плотностями по основе и утку. Объемное удельное сопротивление ρ_v и проводимость электропроводящих тканей σ измерялись и вычислялись по формулам (3) и (4) соответственно:

$$\rho_v = R(Ом) \cdot RCF \cdot t(см); \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho_v}. \quad (4)$$

где R – сопротивление образца ткани, Ом; RCF – поправочный коэффициент сопротивления тканей; t – толщина ткани, см; σ – проводимость ткани, 1/Ом*см.



1 – полотно; 2 – саржа 3/1; 3 – неправильный шестиступенчатый сатин

Рисунок 8 – Эффективность экранирования тканей специального назначения

Экранирующие ткани были исследованы в сертифицированной лаборатории РУП «БелГИМ» на диапазонах частот от 1,2 до 11 ГГц. Эффективность экранирования тканей специального назначения различных переплетений представлена на рисунке 8.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что значение эффективности электромагнитного экранирования ткани сатинового переплетения низкое на частотах 2 ГГц и 11,5 ГГц. При анализе экранирования ткани саржевого переплетения наблюдается незначительное уменьшение экранирующей способности на частотах 5,64 ГГц и 11,5 ГГц. В свою очередь, ткань полотняного переплетения имеет незначительное снижение экранирующей способности только на частотах 2 ГГц и 11,5 ГГц.

Установлено, что ткань полотняного переплетения обеспечивает лучшую группировку нитей по сравнению с другими переплетениями, это обуславливает более равномерную экранирующую способность на всём диапазоне исследуемых частот. Данные зависимости обусловлены структурными особенностями выбранных переплетений ткани.

При анализе влияния плотности по основе и утку на экранирующую эффективность опытных образцов тканей исследовались образцы под номерами 2 и 2А (таблица 6). Результаты исследования представлены на рисунке 9.

Образцы 2 и 2А имеют разную эффективность электромагнитного экранирования. Увеличение эффективности экранирования образца ткани 2А связано с увеличением плотности по основе и утку, что обусловлено наличием повышенного содержания медной

микропроволоки на квадратный метр ткани. Кроме того, преимуществом использования тканей саржевого переплетения является то, что они имеют низкую пористость по сравнению с другими переплетениями.

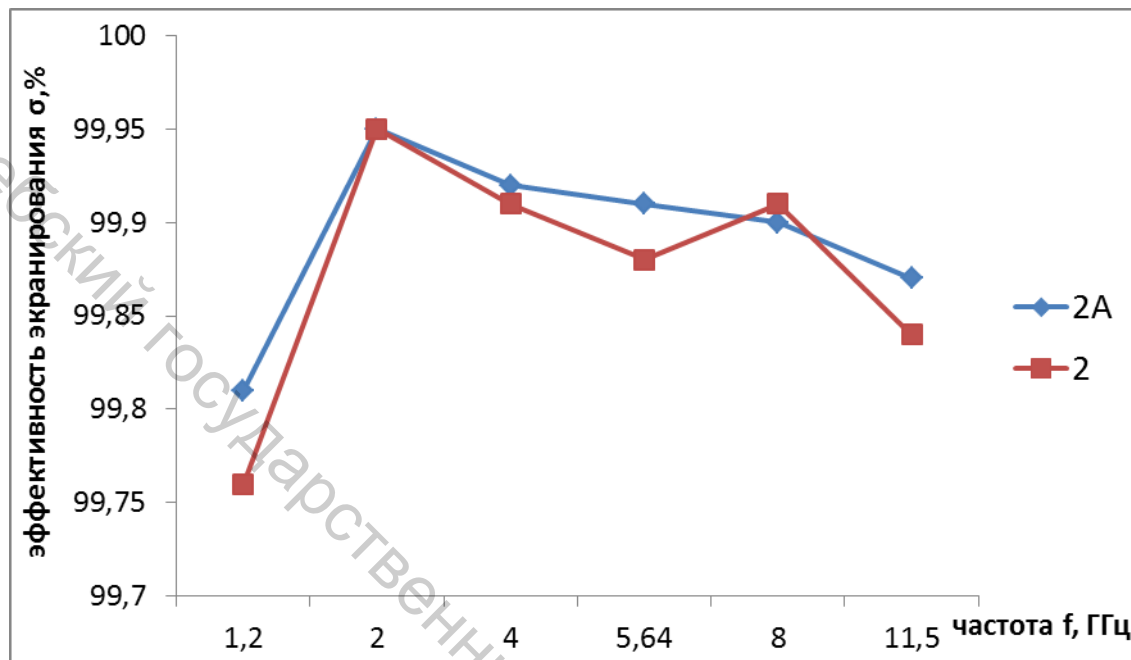


Рисунок 9 – Влияние плотности ткани по основе и утку на эффективность электромагнитного экранирования

Способ получения экранирующих тканей специального назначения успешно доказал свою целесообразность. Было установлено, что эффективностью электромагнитного экранирования тканей специального назначения с использованием медной микропроволоки можно варьировать путем изменения переплетения, плотности ткани по основе и утку.

Установлено, что для достижения максимальной экранирующей способности наиболее целесообразно вырабатывать ткани полотняного переплетения с максимально возможной плотностью ткани по основе и утку [12].

К техническим тканям и изделиям в зависимости от их назначения предъявляются различные требования относительно тепловых и электрозащитных свойств. Основными свойствами, определяющими использование термостойкой антистатической ткани в защитной одежде, являются их защита от статического электричества и высокие значения тепловых показателей, к которым относятся: значение кислородного индекса, коэффициент дымообразования и огнестойкость.

Таким образом, исследование ткани из комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжи по этим показателям

является необходимым для анализа возможности ее применения в качестве специальной защитной одежды.

В учреждении «НИЦ Витебского областного управления МЧС РБ» были проведены испытания по определению значения кислородного индекса, коэффициента дымообразования и огнестойкости.

Одним из основных требований, предъявляемых к термостойким текстильным материалам является показатель «кислородный индекс».

Результаты испытаний наработанной ткани с комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжей на «кислородный индекс» представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты испытаний наработанной ткани с комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжей на «кислородный индекс»

№ эл. пробы	Концентрация кислорода, % об.	Кислородный индекс, % об.
1	27,4	27,4
2	27,2	
3	27,4	
4	27,6	
5	27,4	

Наработанная ткань имеет показатель «кислородный индекс» равный 27,4 % об. По результатам испытаний можно сделать вывод, что комбинированную арселонсодержащую электропроводящую пряжу можно применять для производства термостойких текстильных материалов, которые по своим свойствам будут отвечать нормативным требованиям одежды, предназначенной для защиты пожарных от опасных и вредных факторов окружающей среды, возникающих при тушении пожаров и проведении связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ, а также от неблагоприятных климатических воздействий [13].

Выводы

Разработан ассортимент тканей с комбинированной хлопкосодержащей электропроводящей пряжей для экранирования (отражения) электромагнитных волн. Ткани используются для наработки изделий, защищающих от электромагнитных волн различных диапазонов.

По результатам исследований физико-механических свойств экранирующей ткани со 100 % вложением комбинированной

хлопкосодержащей электропроводящей пряжи линейной плотности 40 текс установлено, что ткани соответствуют требованиям, предъявляемым к изделиям специального назначения и могут быть рекомендованы для изготовления одежды для защиты от электромагнитных импульсов различных частот.

Проведены испытания экранирующей (отражающей) способности тканей с комбинированной хлопкосодержащей электропроводящей пряжей и установлено, что ткань защищает от электромагнитного излучения, не пропуская 99,6 – 99,9 % электромагнитных волн на диапазонах частот от 1,2 ГГц до 11,5 ГГц. Установлено, что для достижения максимальной экранирующей способности наиболее целесообразно вырабатывать ткани полотняного переплетения с максимально возможной плотностью ткани по основе и утку.

Разработана термостойкая антистатическая ткань переплетения репс из комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжи. Данная ткань является принципиально новым подходом к созданию тканей с защитой от статического электричества и тепловых потоков.

Проведен анализ физико-механических и теплофизических свойств термостойких антистатических тканей. Установлено, что ткани обладают высокими значениями теплофизических и антистатических показателей и удовлетворяют нормативным требованиям, предъявляемым к тканям для специальной защитной одежды. Разработанные ткани с комбинированной арселонсодержащей электропроводящей пряжей могут использоваться для защитной спецодежды в местах, где ведется работа с легковоспламеняющимися веществами и горюче-смазочными материалами, предохраняя человека от статического электричества и тепловых потоков.

В результате проведенной оптимизации экранирующих свойств тканей специального назначения с комбинированной электропроводящей пряжей установлено, что для достижения максимальной экранирующей способности наиболее целесообразно вырабатывать ткани полотняного переплетения с максимально возможной плотностью по основе и утку.

ГЛАВА 6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОЛУТОРАСЛОЙНЫХ ТКАНЕЙ

Мобильная трансформация методов и приемов проектирования на этапе производства тканей в современных условиях вызвана необходимостью совершенствования их ассортимента, повышением потребительского качества и художественно-колористического оформления. Форсирование этих процессов определяется проникновением достижений научно-технического прогресса во все области науки и техники.

Это проявляется в виде применения современных инженерных методов проектирования на основе создания высокоэффективных систем автоматизированного проектирования (САПР), которые ускоряют сроки проектирования и выработки продукции.

Производство становится более экономичным и ресурсосберегающим, если оно сориентировано на технологии, позволяющие ускорить процесс подготовки и выпуска конечной продукции, использование которых сочетается с возможностью применения их на имеющемся в распоряжении предприятия оборудовании, выполняющем необходимые технологические задачи. И, соответственно, чем больше программ в распоряжении технического персонала, тем больший объем инженерных задач можно автоматизировать.

Проанализировав различные виды САПР в текстильной отрасли промышленности, можно сделать вывод о том, что их использование позволяет создавать разнообразные рисунки тканей с большими вариационными возможностями как в выборе цветового решения, так и в задаваемых ткацких переплетениях. Применение информационных технологий используется на самых разных этапах проектирования тканей в виде отдельных задач или комплексных систем, что создает возможность ускорения цикла выработки продукции. Компоненты информационных систем:

- проектирование переплетений тканей (мелкоузорчатых, крупноузорчатых; ковровых изделий и гобеленов; многослойных материалов);
- программы проектирования тканей;
- проектирование процесса ткачества [1 – 2];
- автоматизированное проектирование ткацкого производства.

Внедрение автоматизации в подготовительное производство и ткачество направлено на повышение производительности труда и оборудования, сокращение простоев станков, потерь рабочего времени,

повышение качества основ на сновальных валиках и ткацком навое, сортности суровой ткани, повышение оперативности и эффективности ткацкого производства. Исходная информация поступает: от датчиков и пультов рабочего времени, установленных на технологическом оборудовании; с пультов ввода в помещениях служб ткацкого производства; из массивов нормативно-справочной информации, хранящихся в памяти центрального компьютера. Данные системы ориентированы на получение управляющих производством программ по результатам расчётов. Они могут применяться на оборудовании, механизмы которого управляются электронно. Примерами могут служить автоматизированные системы управления производств фирм «STEUBLI» (Швейцария) и «SCHONHERR» (Германия) и другие. Эти информационные системы не учитывают технологических особенностей изготовления ткани на ткацком станке, что может повлечь за собой сложности в процессе выработки ткани.

Для ликвидации данного недостатка разрабатываются программы проектирования технологического процесса ткачества. В основу их заложен принцип изготовления ткани определенного строения с заданными свойствами. Данные программы включают в себя проектирование ткани по одному из известных методов, исследование свойств используемых нитей, расчет технологических параметров выработки ткани, расчет заправочных натяжений нитей основы и утка, расчет повреждаемости основных нитей на ткацком станке с учетом неравномерности свойств текстильных материалов, расчет обрывности нитей основы и утка. Примером могут служить программный продукт, разработанный на кафедре ткачества МГТУ им. А.Н. Косыгина, пакет прикладных программ, разработанный в НПО «Автоматизация легпрома» и другие.

Большинство исследователей занимаются автоматизацией традиционных процедур проектирования (А.В. Фирсов, А.А. Мартынова, Н.Ф. Сурнина, С.С. Юхина, С.В. Малецкая и др.), и теоретически и практически решают вопрос управления процессом автоматизированного проектирования тканей и создания на его основе метода разработки системы проектирования [3, 7, 15].

Проанализированные выше компьютерные технологии не предназначены для разработки переплетений и визуализации ткани — одних из исходных положений разработки ассортимента, что является не менее важным этапом проектирования.

Каждая САПР переплетений тканей предназначена для разработки и построения рисунков переплетений соответствующих видов тканей, планирования их разнообразной цветовой гаммы, построения картоносителя и (или) его последующей подготовки для

выработки ткани на ткацких станках с использованием различных зевообразовательных механизмов. Компьютерные технологии обеспечивают автоматический ввод, хранение, обработку информации о переплетениях и фактуре ткани, построение как заправочных рисунков, так и визуализация проектируемых образцов. Различные модификации данных тканей можно включить в единую библиотеку переплетений. Примерами могут служить программные комплексы «Процвитэ» (УО «ВГТУ»), «Дессинатор-1» и «Дессинатор-2» (ФГУП ЦНИИЛКА), «САЛТЕКС» (ТОО «Салтекс»), «Автодессинатор» (ЗАО «ТРИ-Д») и многие другие [4 – 6, 9].

Тем не менее, одним из недостатков данных программ является отсутствие в программных продуктах расчета параметров суровой и готовой ткани с учетом ее назначения.

Применению информационных технологий для построения переплетений тканей уделяется достаточное внимание многими исследователями. Большинство работ исследователей направлено на создание САПР, предназначенных для проектирования однослойных ремизных или жаккардовых тканей. Это работы ученых из Московского государственного текстильного университета им. А.Н. Косыгина (МГТУ), Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна (СПбГУТиД), Ивановской государственной текстильной академии (ИГТА), Костромского государственного технологического университета (КГТУ), Витебского государственного технологического университета (ВГТУ), и зарубежных вузов. Например, автор в своей работе предлагает технически и технологически обоснованную разработку комплекса автоматизированных методов построения заправочных рисунков для тканей комбинированных переплетений (в частности, нескольких способов построения креповых переплетений) [4, 7].

При создании компьютерных программ для проектирования тканей используют электронные таблицы Excel, языки программирования Visual Basic [9], Visual C++, C++ [4, 7]. Возможность разделения системы автоматизированного проектирования на стадии рассматривалась в трудах Фирсова А.В., Лушников С.В., Николаева С.Д., Супонева В.С. [2, 3, 7] и зарубежных разработчиков [10].

В большинстве работ математически ткацкое переплетение представляется матрицей из 0 и 1. В частности, Малецкой С.В. изучены вопросы автоматизации построения крупноузорчатых переплетений тканей, совместно с Дружинской О.И. – комбинированных и диагоналевых переплетений однослойных тканей. Фирсовым А.В. рассматривались вопросы создания САПР мелкоузорчатых ткацких

переплетений, Бугаёвой Н.А. – гобеленовых тканей. Казарновской Г.В., Скоковым П.В. разработана система проектирования цветовых эффектов и структуры гобеленовых тканей, зарубежными учеными – узоров жаккардовых тканей и визуализации переплетений [4, 7].

Кроме того, использование САПР зарубежных разработчиков сопровождается трудностями перевода структурных компонентов и большой стоимостью самого программного продукта.

Таким образом, анализ информационных источников показал, что разработчиками САПР недостаточно внимания уделено созданию полутораслойных тканей, а также комплексных программ завершённого цикла проектирования тканей от идеи до всех видов расчетов и визуализации коллекции образцов. В настоящее время возрастают запросы потребителей и предъявляются особые требования по обновлению структуры, сырьевого состава и колористического оформления текстильных материалов. Они должны быть разработаны в соответствии с основными направлениями моды и тенденциями развития производства. В процессе создания конкурентоспособных импортозамещающих материалов согласно с последними требованиями моды и стиля возникает необходимость проектировать многослойные материалы, особенно полутораслойные ткани, которые в настоящий момент пользуются значительным интересом у потребителей.

В связи с указанным выше, в данной работе было предложено использовать информационные технологии в формировании и визуализации полутораслойных тканей. Программное обеспечение компьютерной системы для проектирования данного вида тканей представляет собой авторский программный продукт «Projectcloi», ориентированный на персональный компьютер с операционной системой Windows [8, 11 – 14, 16, 18 – 21].

Программный продукт состоит из трёх блоков, которые могут работать как в автономном режиме, так и во взаимосвязи: «Построение переплетений», включающий построение заправочного рисунка переплетения ткани и визуализацию внешнего ее вида; «Проектирование ткани» и «Заправочный расчёт».

Для того чтобы реализовать весь цикл проектирования ткани, было решено работу программы построить таким образом, чтобы осуществить все этапы от построения переплетения, до проектирования ткани и выполнения заправочного расчёта. При этом приступать к работе с разделами САПР можно в любой момент, также возможно сохранить данные на любом этапе разработки полутораслойной ткани или использовать в работе ранее сохранённые попытки. При этом результаты работы возможно записать на жесткий диск в память машины либо на любой съёмный носитель, а также распечатать.

Если необходимо выполнить только построение переплетений, то работу блока можно проводить изолированно от других. Известно, что выбор ткацкого переплетения может изменять показатели физико-механических свойств тканей в 2 – 3 раза.

К полутораслойным тканям относятся ткани с дополнительным утком и дополнительной основой, поэтому окно «Построение переплетений» включает две команды, представляющие собой два подвида полутораслойных переплетений: «С дополнительным утком» и «С дополнительной основой» (рисунок 1).

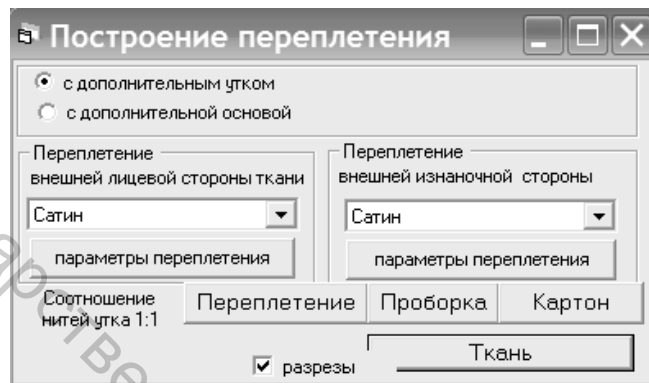


Рисунок 1 – Окно меню «Построение переплетений»

Математически ткацкое переплетение представляется двухмерной матрицей из 0 и 1, где 1 – основное перекрытие, 0 – уточное. Для матричной формулы используются значения раппортов базовых переплетений по основе и утку (R_o , R_y), число основных и уточных перекрытий (n_o , n_y), сдвиг перекрытия для последующей нити (s) и коэффициент повторения ($\times k$). Так как могут быть различные варианты параметров строения переплетения, недостаточно матрицы с конкретными значениями, были разработаны алгоритмы, разрешающие вариантность введения значений пользователем. Таким образом созданы алгоритмы построения: полотняного переплетения, саржи (простой, усиленной, многополосной), атласа (правильного, неправильного), сатина (правильного, неправильного), репса основного, репса уточного, полурепа основного, полурепа уточного, рогожки, а также реализована возможность пользователя самому рисовать произвольное переплетение.

Система позволяет автоматизировать следующие этапы проектирования:

- выбор и/или создание новых переплетений, являющихся базовыми для построения полутораслойных переплетений;
- построение полутораслойного переплетения ткани;

- построение проборки и картона;
- выполнение продольного и поперечного разрезов ткани;
- выбор цвета нитей основы и утка, их линейной плотности;
- оперативное изменение исходных данных (базовые переплетения, раппорт цвета по основе и утку);
- визуализация проектируемого образца ткани.

После выбора вида полутораслойного переплетения необходимо в этом же диалоговом окне определить переплетение лицевой стороны ткани и переплетение изнаночной стороны ткани из базы данных переплетений главного класса (полотняное, саржевое, сатиновое, атласное) и их производных, введенных в программу. Внутренняя сторона изнаночного слоя строится автоматически после определения переплетения изнаночного слоя.

Команда по построению переплетений содержит поля следующих данных: раппорт по основе R_o , раппорт по утку R_u , сдвиг по основе S_o , сдвиг по утку S_u и порядок расположения перекрытий на первой уточной нити строящегося переплетения. В результате на экране монитора появляется первая строка переплетения, где показано одиночное основное перекрытие и длинный уточный настил. Количество основных и уточных перекрытий в процессе построения может варьироваться, вручную вводятся все параметры переплетений, которые могут быть подвержены корректировке. Переплетения лицевой и/или изнаночной сторон можно построить самостоятельно в ручном режиме. Переплетения лицевой и изнаночной сторон, а также внутренней стороны изнаночного слоя выводятся на экран монитора и могут быть сохранены в памяти машины или выведены на печать.

При использовании в качестве базовых переплетений на внешних сторонах ткани сарж для изнаночной стороны ткани автоматически выбирается переплетение саржи с противоположным направлением диагонали. Программой предусмотрена автоматическая перестановка нитей внутренней стороны изнаночного слоя с тем, чтобы короткое внутреннее перекрытие было закрыто длинным внешним настилом и располагалось ближе к его середине.

Для выработки тканей с дополнительным утком применяется рядовая проборка основных нитей в ремиз, с дополнительной основой – сводная непрерывная, причем в первый свод пробираются нити нижней основы. Программой выбирается оптимальная проборка для построенного рисунка переплетения.

Известно, что одним из основных элементов заправочного рисунка ткани являются разрезы ткани вдоль нитей основы и утка. Взаимное расположение нитей основы и утка в полутораслойных тканях с дополнительной основой (дополнительным утком) проанализировано

на виртуальных моделях, имитированных в программе трехмерной графики 3ds max. Анализ строения ткани позволил правильно визуализировать продольные и поперечные срезы, в результате чего программный продукт был усовершенствован с помощью введения вкладки, позволяющей запускать часть программы, строящую продольный и поперечный разрезы полутораслойной ткани (рисунок 2). Внешний вид окна «Переплетение» с выбранной командой «Разрезы» представлен на рисунке 3.

Визуализация ткани является важным этапом проектирования, который позволяет без предварительной выработки экспериментальных образцов получить реалистичное изображение художественно-колористического оформления ткани на экране монитора.

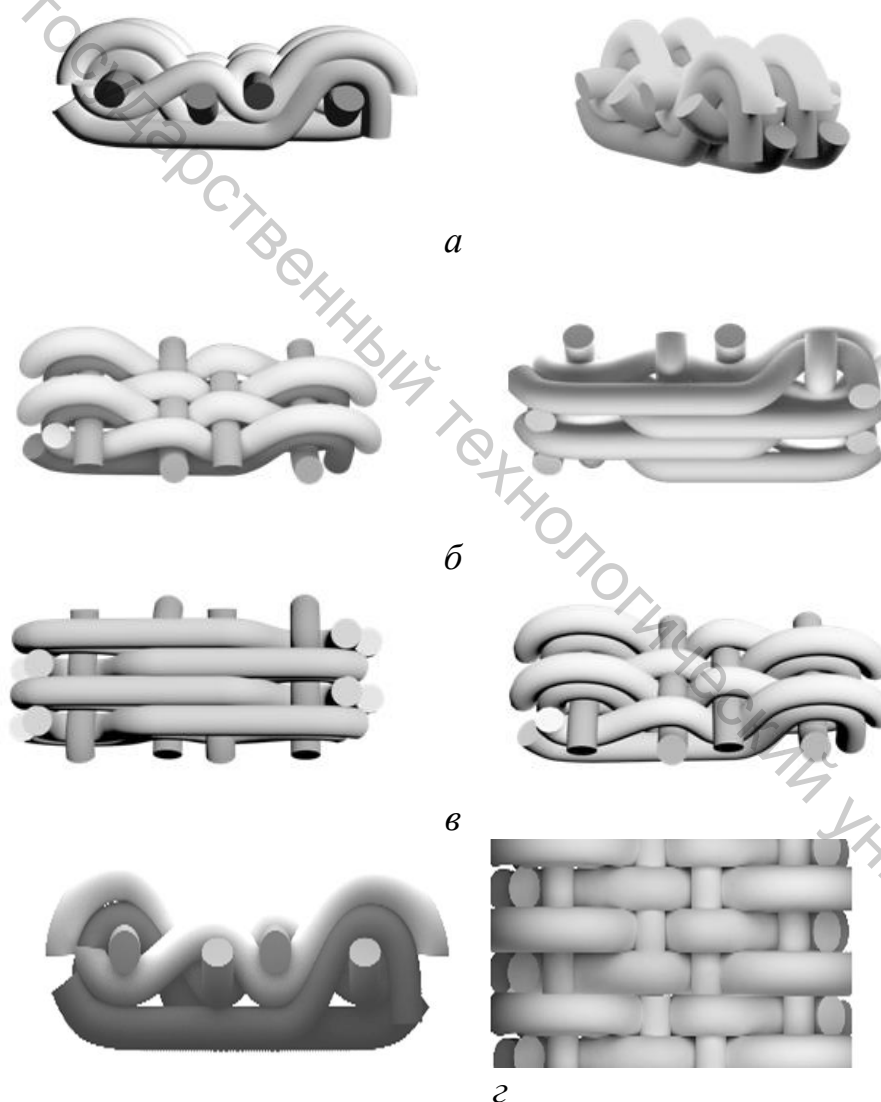


Рисунок 2 – Визуализация разрезов (а – з)

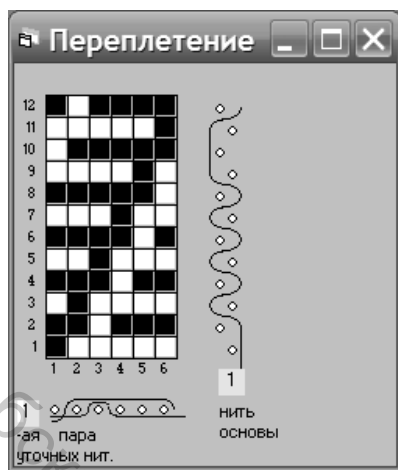
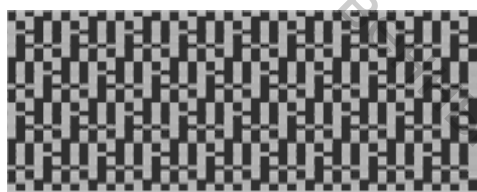
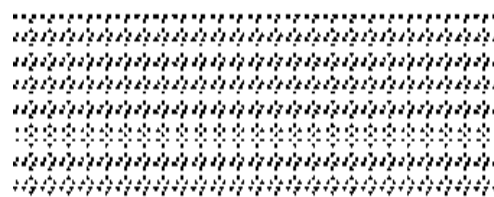


Рисунок 3 – Переплетение с разрезами

Изображение цветного узора к его реальному воплощению в ткани используется добавление добавочных эффектов за счет дополнительных пикселей на границах перекрытий, благодаря чему создается более мягкая поверхность (рисунок 4 б).



а



б

а визуализируемая матрица ткани; б добавление эффектов

Рисунок 4 – Поверхность ткани

Для придания лицевой поверхности ткани дополнительных эффектов, кроме цветовых, например, рельефности, объемности, в системах нитей, формирующих эту поверхность, возможно использовать нити различной линейной плотности. Для реализации этой цели в поле для каждого номера нити в раппорте переплетения вводится заданная линейная плотность.

Кроме того, в настоящее время актуальна разработка не только гладкокрашенных тканей, но и пёстротканей, выработанных с использованием в основе и в утке нитей различного цвета. Программа обеспечивает выбор, корректировку, просмотр раппортов цвета по основе и утку, которые сохраняются в памяти машины в различных вариантах.

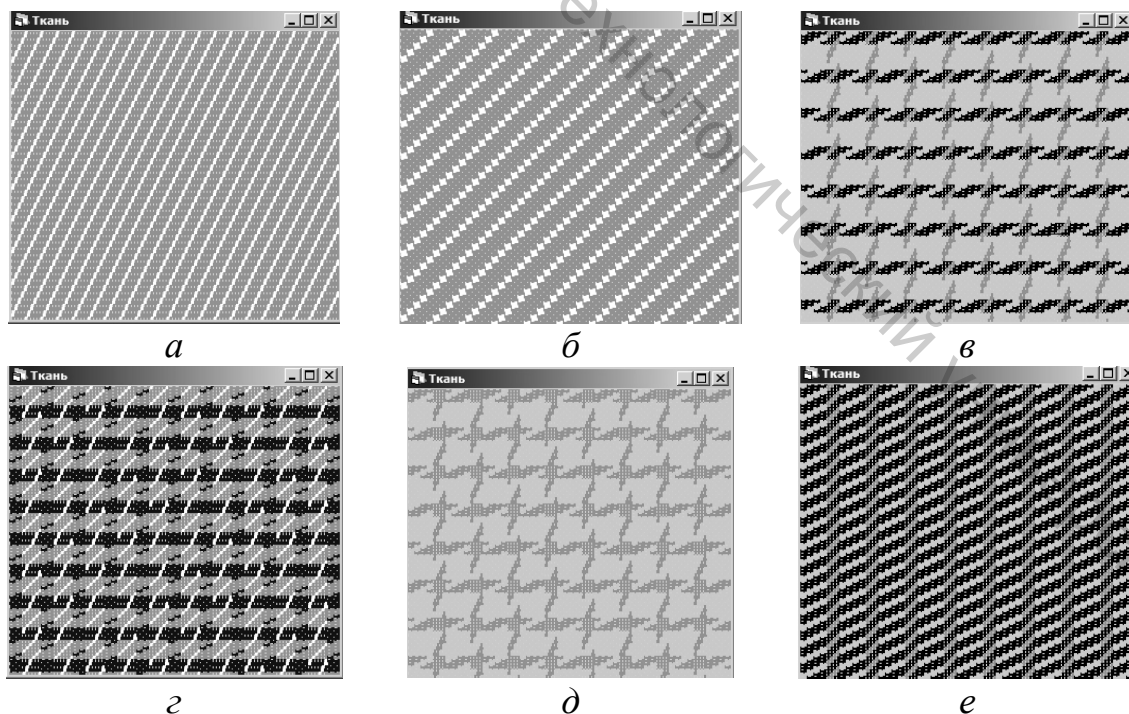
Палитра цвета в программе введена стандартная. Кроме того, предусматривается изменение цифровых значений каждого цвета, что позволяет создавать новую палитру.

Наряду с изменением раппорта цвета по основе и утку можно менять линейные плотности нитей как в системах нитей в целом (рисунок 5 *а, б*), так и в группах нитей (рисунок 5, *в – е*). Вид окон при работе с программой при проектировании переплетения полутораслойной ткани представлен на рисунке 6.

После окончания операций по построению полутораслойных переплетений выходные данные: раппорты переплетения по основе и по утку, число пересечений утка нитями основы и основы утком, направляются в следующий блок – «Проектирование ткани», раппорт цвета по основе и утку, число ремизок в заправке – в блок «Заправочный расчёт».

Существует множество методик проектирования тканей по заданным свойствам, но одной из основных является методика проектирования тканей бытового назначения по заданной поверхностной плотности, разработанная профессором Мартыновой А.А. и доцентом Слотиной Г.Л.

Поверхностная плотность – основной регламентируемый показатель физико-механических и потребительских свойств большинства тканей, позволяющий оценить их материалоемкость. Практика проектирования показывает, что в большинстве случаев известен ассортимент, сырьевой состав, переплетение нитей в будущей ткани. Поэтому для решения задачи проектирования полутораслойных тканей в головное меню программы и был введен блок «Проектирование ткани».



а, б, в в системах нитей в целом; *г, д, е* в группах нитей

Рисунок 5 – Визуализация лицевой поверхности ткани с цветными нитями в основе и в утке и с нитями различной линейной плотности

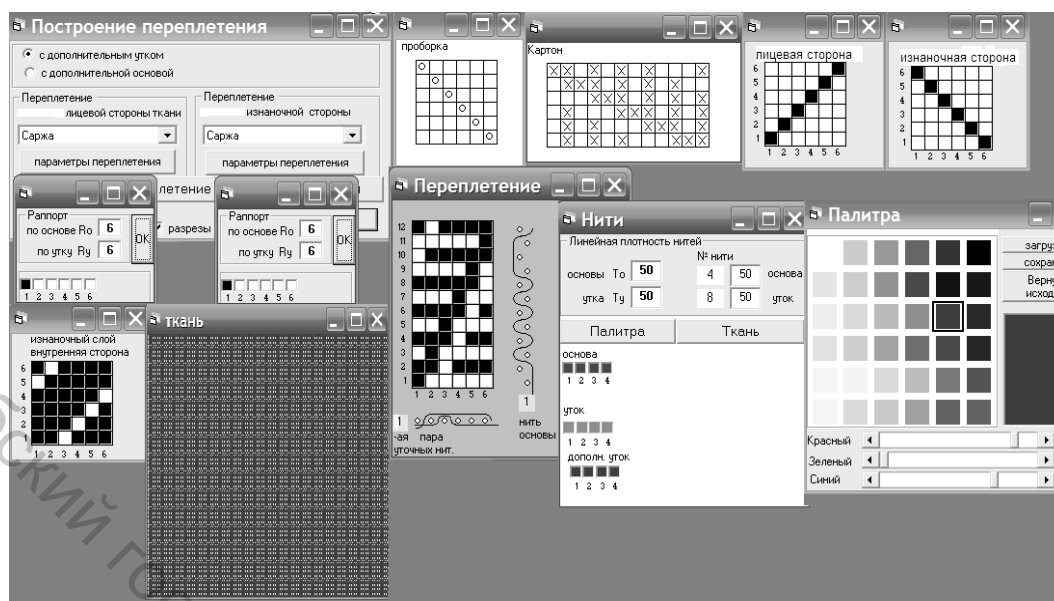


Рисунок 6 – Расположение окон при построении переплетения ткани

В программе расчет ткани выполняется по двум направлениям в соответствии с двумя видами полутораслойных тканей (с дополнительной основой или с дополнительным утком). Входными данными для проведения расчёта являются: линейные плотности нитей основы и утка, коэффициенты сырьевого состава нитей основы и утка, раппорты по основе и утку, число пересечек нитями основы нитей утка, порядок фазы строения, коэффициенты смятия основы и утка (определяются опытным путём при замере на срезах ткани). Разработанные математические модели для определения основных параметров строения полутораслойных тканей рассмотрены на примере полутораслойного переплетения с дополнительным утком. В лицевом слое применялось переплетения, не характерное для этого вида тканей: полотняное (рисунок 7) [8, 16, 17].

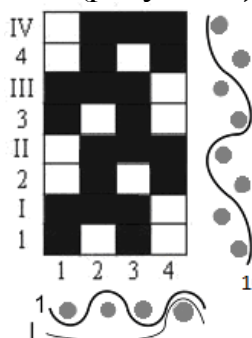


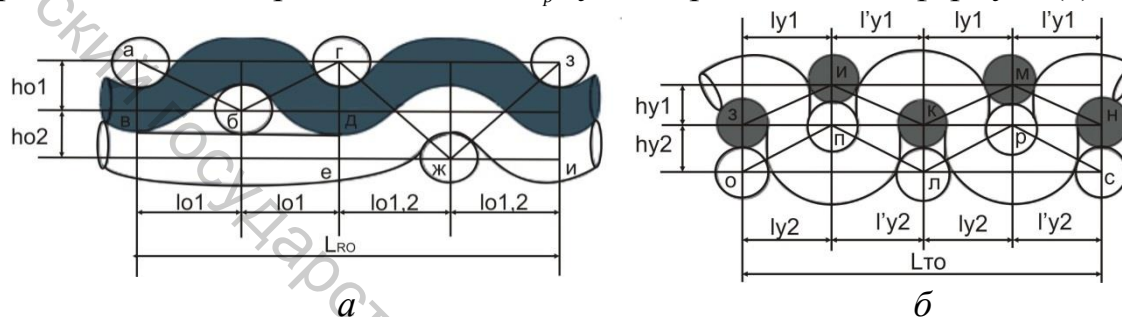
Рисунок 7 – Полутораслойное переплетение с дополнительным утком

Поскольку формулы для определения основных параметров строения тканей: диаметров нитей на паковке d_n и в ткани d , высот волн изгиба h , геометрических плотностей ткани l , коэффициентов наполнения ткани волокнистым материалом $K_{тк}$, уработки нитей в ткани a , выведенные ранее [15], носят общий характер, то они в каждом конкретном случае требуют уточнения в соответствии с

геометрической моделью строения ткани, фактического расположения нитей в ткани.

В результате предварительного исследования параметров строения тканей по срезам, а также с учетом визуализации разрезов ткани построены геометрические модели строения ткани при максимальном уплотнении по основе и утку, соответственно (рисунок 8 а, б) [8].

Так как в основе, верхнем и нижнем утках ткани применяются нити одинакового сырьевого состава и линейной плотности, расчётные диаметры нитей в верхнем d_{p1} и нижнем d_{p2} слоях ткани будут одинаковы, то есть расчётный диаметр нитей в ткани d_p будет определяться по формуле (1).



а по основе; б по утку

Рисунок 8 – Геометрические модели строения ткани при максимальном уплотнении

$$d_{p1} = d_{p2} = \frac{d_{y1} + d_o}{2} = \frac{d_{y2} + d_o}{2} = d_p = \frac{d_{cp.n}}{K_d + 1} (K_d \cdot \tau_o + \tau_y), \quad (1)$$

где d_{y1} – диаметр нитей утка верхнего слоя, мм; d_{y2} – диаметр нитей утка нижнего слоя, мм; d_o – диаметр нитей основы, мм; $d_{cp.n}$ – средний диаметр нитей основы и утка на паковке, мм; K_d – коэффициент соотношения диаметров; τ_o, τ_y – коэффициенты смятия нитей основы и утка, соответственно.

Для тканей с дополнительным утком при использовании в утках нитей одинаковой линейной плотности и при соотношении между утками 1:1 порядок фазы строения в верхнем и нижнем слоях одинаков:

$$K_{hy1} = K_{hy2} = K_{hy}, \quad (2)$$

где K_{hy1}, K_{hy2} – коэффициенты, определяющие высоту волн изгиба нитей утка верхнего и нижнего слоев, в зависимости от порядка фазы строения.

Поэтому высота волны изгиба нитей утка в верхнем h_{y1} и нижнем h_{y2} слоях равна:

$$h_{y1} = h_{y2} = h_y = K_{hy} \cdot d_p = \frac{d_{cp.n} \cdot K_{hy} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{K_d + 1}. \quad (3)$$

Высота волны изгиба нитей основы при пересечении ее нитями верхнего h_{o1} и нижнего h_{o2} утков:

$$h_{o1} = h_{o2} = h_o = K_{ho} \cdot d_p = \frac{d_{cp.n} \cdot K_{ho} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{K_d + 1}, \quad (4)$$

где K_{ho} – коэффициент, определяющий высоту волн изгиба нитей основы в зависимости от порядка фазы строения.

Геометрическая плотность в местах пересечения нитей основы с утком (рисунок 8 а):

$$l_{o1} = \sqrt{(d_y + d_o)^2 - h_o^2} = \frac{d_{cp.n} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{K_d + 1} \sqrt{4 - K_{ho}^2}, \quad (5)$$

где h_o – высота волны изгиба нитей основы, мм; d_o , d_y – диаметр нитей основы и утка, мм.

Геометрическая плотность в местах одновременного пересечения нитей верхнего и нижнего утков нитями основы (рисунок 8 а):

$$\begin{aligned} l_{o1,2} &= \sqrt{(d_o + d_y + d_y)^2 - (h_o + h_o)^2} = \\ &= \frac{2 \cdot d_{cp.n}}{K_d + 1} \sqrt{(K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 - K_{ho}^2 \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

По геометрической модели строения ткани при максимальном уплотнении по утку видно, что нити утков обеих систем зажимаются нитью основы и располагаются один над другим (рисунок 8 б). Геометрическая плотность в местах пересечения нитей верхнего l_{y1} и нижнего l_{y2} утков с основой одинакова:

$$l_{y1} = l_{y2} = \sqrt{(d_y + d_o)^2 - h_y^2} = \frac{d_{cp.n} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{K_d + 1} \sqrt{4 - K_{hy}^2}, \quad (7)$$

где h_y – высота волны изгиба нитей утка, мм.

Коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по основе K_{HO} определяется по формуле (8), коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по утку для верхнего K_{HY1} и нижнего K_{HY2} слоёв одинаков (9):

$$K_{HO} = \frac{P_o}{P_{o\max}}; \quad (8)$$

$$K_{HY1} = K_{HY2} = \frac{P_{y1}}{P_{y1\max}} = \frac{P_{y2}}{P_{y2\max}}, \quad (9)$$

где P_o, P_{y1}, P_{y2} – плотности ткани по основе, по утку верхнего и нижнего слоёв, нит./10 см; $P_{o\max}, P_{y1\max}, P_{y2\max}$ – максимальная плотность ткани по основе, по утку для верхнего и нижнего слоёв, нит./10 см.

Максимальные плотности ткани по основе, верхнем и нижнем утках определяются по формулам

$$P_{o\max} = \frac{1,5 \cdot 100 \cdot R_o}{l_{o1} \cdot t_{y1} + l_{o1,2} \cdot t_{y1,2}} = \frac{(K_d + 1) \cdot 1,5 \cdot 100 \cdot R_o}{2 \cdot d_{cp.n} \cdot ((K_d \cdot \tau_o + \tau_y) \cdot \sqrt{4 - K_{ho}^2} + 2 \cdot \sqrt{(K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 - K_{ho}^2 \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2})}; \quad (10)$$

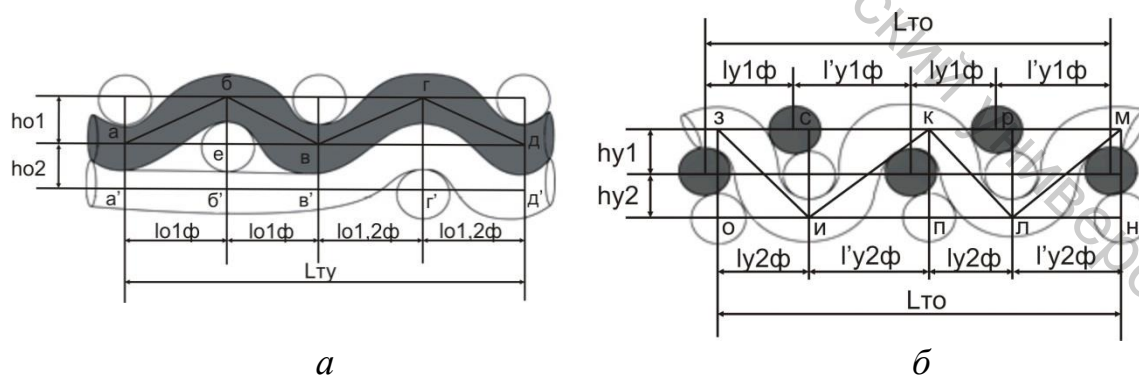
$$P_{y1\max} = P_{y2\max} = \frac{100 \cdot R_y}{l_{y1} \cdot t_{o1}} = \frac{(K_d + 1) \cdot 100 \cdot R_y}{4 \cdot d_{cp.n} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y) \cdot \sqrt{4 - K_{hy}^2}}. \quad (11)$$

Уработка нитей в ткани является одним из основных параметров ее строения, поэтому большой интерес приобретает вопрос нахождения математических моделей для расчета этого параметра. При их выводе принимались два допущения: диаметры нитей основы и утка по форме поперечного сечения в ткани есть величина постоянная, принимающая форму, близкую к кругу; фактическая геометрическая плотность пропорциональна коэффициенту наполнения ткани волокнистым материалом. Так как ткани на ткацких станках вырабатываются в основном с плотностью ниже максимально возможной, как и в нашем случае, то нити располагаются на некотором расстоянии друг от друга, которое зависит от коэффициента наполнения ткани волокнистым материалом. Для определения уработки утка и основы построены геометрические модели расположения нитей в ткани, представленные на рисунке 9 а, б.

Длина нити верхнего утка (рисунок 9 а):

$$L_{y1} = ab + бв + вг + гд; \quad (12)$$

$$l_{o1\phi} = \frac{l_{o1}}{K_{HO}}; \quad (13)$$



а вдоль утка; б вдоль основы

Рисунок 9 – Геометрические модели расположения нитей в ткани

$$l_{o1,2\phi} = \frac{l_{o1,2}}{K_{HO}}; \quad (14)$$

$$a\bar{b} = \bar{b}v = \sqrt{(l_{o1\phi})^2 + h_o^2} = \frac{d_{c\phi n} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{(K_d + 1) \cdot K_{HO}} \cdot \sqrt{4 - K_{ho}^2 + K_{HO}^2 \cdot K_{ho}^2}; \quad (15)$$

$$\begin{aligned} v\bar{z} = z\bar{d} &= \sqrt{(l_{o1,2\phi})^2 + h_o^2} = \\ &= \frac{d_{c\phi n}}{(K_d + 1) \cdot K_{HO}} \sqrt{4 \cdot (K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 + K_{ho}^2 \cdot (K_{HO}^2 - 4) \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

Тогда

$$L_{y1} = 2 \cdot a\bar{b} + 2 \cdot v\bar{z} = 2 \cdot (a\bar{b} + v\bar{z}). \quad (17)$$

Длина ткани по утку (рисунок 9 а):

$$L_{my} = ae + ev + v\bar{z}' + z'\bar{d}; \quad (18)$$

$$ae = ev = l_{o1\phi} = \frac{d_{c\phi n} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{K_{HO} \cdot (K_d + 1)} \sqrt{4 - K_{ho}^2}; \quad (19)$$

$$v\bar{z}' = z'\bar{d} = l_{o1,2\phi} = \frac{2 \cdot d_{c\phi n}}{K_{HO} \cdot (K_d + 1)} \sqrt{(K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 - K_{ho}^2 \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2}; \quad (20)$$

$$L_{my} = 2 \cdot ae + 2 \cdot v\bar{z}' = 2 \cdot (ae + v\bar{z}'). \quad (21)$$

Отсюда уработка нитей утка в верхнем слое:

$$a_{y1} = \frac{2 \cdot (a\bar{b} + v\bar{z}) - 2 \cdot (ae + v\bar{z}')}{2 \cdot (a\bar{b} + v\bar{z})} \cdot 100 = \frac{(a\bar{b} + v\bar{z}) - (ae + v\bar{z}')}{(a\bar{b} + v\bar{z})} \cdot 100. \quad (22)$$

После подстановки в формулу (22) значений $a\bar{b}$, $v\bar{z}$, ae и $v\bar{z}'$:
числитель формулы:

$$\begin{aligned} &100 \cdot ((K_d \cdot \tau_o + \tau_y) \cdot \sqrt{4 - K_{ho}^2 + K_{HO}^2 \cdot K_{ho}^2} - \sqrt{4 - K_{ho}^2} + \\ &+ \sqrt{4 \cdot (K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 + K_{ho}^2 \cdot (K_{HO}^2 - 4) \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2} - \\ &- 2 \cdot \sqrt{(K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 - K_{ho}^2 \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2}); \end{aligned} \quad (23)$$

знаменатель формулы:

$$\begin{aligned} &(K_d \cdot \tau_o + \tau_y) \cdot \sqrt{4 - K_{ho}^2 + K_{HO}^2 \cdot K_{ho}^2} + \\ &+ \sqrt{4 \cdot (K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 + K_{ho}^2 \cdot (K_{HO}^2 - 4) \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2}. \end{aligned} \quad (24)$$

Уработка нитей утка в нижнем слое определяется следующим образом.

Длина нити нижнего утка (рисунок 9 а):

$$L_{y2} = a'\bar{b}' + \bar{b}'\bar{v}' + \bar{v}'\bar{z}' + \bar{z}'\bar{\partial}'; \quad (25)$$

$$a'\bar{b}' = \bar{b}'\bar{v}' = l_{o1\phi} = \frac{d_{cpr} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{K_{HO} \cdot (K_d + 1)} \sqrt{4 - K_{ho}^2}; \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \bar{v}'\bar{z}' = \bar{z}'\bar{\partial}' &= \sqrt{(l_{o1,2\phi})^2 + h_{o2}^2} = \\ &= \frac{d_{cpr}}{(K_d + 1) \cdot K_{HO}} \cdot \sqrt{4 \cdot (K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 + K_{ho}^2 \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2 \cdot (K_{HO}^2 - 4)}. \end{aligned} \quad (27)$$

Следовательно

$$L_{y2} = 2 \cdot a'\bar{b}' + 2 \cdot \bar{v}'\bar{z}' = 2 \cdot (a'\bar{b}' + \bar{v}'\bar{z}'). \quad (28)$$

Уработка нитей утка в нижнем слое (рисунок 9 а):

$$a_{y2} = \frac{2 \cdot (a'\bar{b}' + \bar{v}'\bar{z}') - 2 \cdot (ae + \bar{v}z')}{2 \cdot (a'\bar{b}' + \bar{v}'\bar{z}')} \cdot 100 = \frac{(a'\bar{b}' + \bar{v}'\bar{z}') - (ae + \bar{v}z')}{(a'\bar{b}' + \bar{v}'\bar{z}')} \cdot 100. \quad (29)$$

После подстановки в формулу (26) значений $a'\bar{b}'$, $\bar{v}'\bar{z}'$, ae и $\bar{v}z'$:

$$a_{y2} = \frac{\sqrt{4 \cdot (K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 + K_{ho}^2 \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2 \cdot (K_{HO}^2 - 4)} - 2 \cdot \sqrt{(K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 - K_{ho}^2 \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2}}{(K_d \cdot \tau_o + \tau_y) \cdot \sqrt{4 - K_{ho}^2} + \sqrt{4 \cdot (K_d \cdot \tau_o + 2 \cdot \tau_y)^2 + K_{ho}^2 \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)^2 \cdot (K_{HO}^2 - 4)}} \cdot 100 \quad (30)$$

Особое внимание заслуживает геометрическая модель строения ткани, учитывающая фактическое расположение нитей для определения уработки основы (рисунок 9 б). Нити утка на внешних сторонах ткани располагаются по одной из образующих волны изгиба нитей основы, оставаясь на некотором расстоянии от второй образующей волны изгиба. На основании предварительного исследования параметров строения ткани по срезам установлено, что в этих местах фактическая геометрическая плотность $l'_{y\phi 2}$, $l'_{y\phi 1}$ не пропорциональна коэффициенту наполнения ткани по утку, а отличается от неё на величину коэффициента K . Этот коэффициент введён в формулу для определения $l'_{y\phi 2}$, $l'_{y\phi 1}$.

Длина нити основы (рисунок 9 б)

$$L_o = zu + uk + kl + lm; \quad (31)$$

$$l_{y\phi} = \frac{l_y}{K_{HY}}; \quad (32)$$

$$zu = uk = kl = lm = \sqrt{l_{y\phi}^2 + 4 \cdot h_y^2} = \frac{d_{cpr} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{(K_d + 1) \cdot K_{HY}} \cdot \sqrt{4 + K_{hy}^2 \cdot (4 \cdot K_{HY}^2 - 1)}; \quad (33)$$

$$l'_{y\phi 1} = l'_{y\phi 2} = \frac{l_y \cdot K}{K_{HY}}; \quad (34)$$

$$l_{y\phi 1} = l_{y\phi 2} = \frac{l_y}{K_{HY}}. \quad (35)$$

Тогда

$$zu = \kappa l = \sqrt{l_{y\phi 1}^2 + 4 \cdot h_y^2} = \frac{d_{cpr} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{(K_d + 1) \cdot K_{HY}} \cdot \sqrt{4 + K_{hy}^2 \cdot (4 \cdot K_{HY}^2 - 1)}; \quad (36)$$

$$uk = \lambda m = \sqrt{l_{y\phi 1}^2 + 4 \cdot h_y^2} = \frac{d_{cpr} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{(K_d + 1) \cdot K_{HY}} \cdot \sqrt{K^2 \cdot (4 - K_{hy}^2) + 4 \cdot K_{hy}^2 \cdot K_{HY}^2}. \quad (37)$$

Длина ткани по основе

$$L_{mo} = ou + un + nl + \lambda n; \quad (38)$$

$$ou = nl = l_{y1\phi} = \frac{d_{cpr} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y)}{K_{HY} \cdot (K_d + 1)} \sqrt{4 - K_{hy}^2}; \quad (39)$$

$$un = \lambda n = l'_{y2\phi} = \frac{d_{cpr} \cdot (K_d \cdot \tau_o + \tau_y) \cdot K}{(K_d + 1) \cdot K_{HY}} \sqrt{4 - K_{hy}^2}; \quad (40)$$

$$L_{mo} = 2 \cdot ou + 2 \cdot un. \quad (41)$$

Тогда уработка нитей основы

$$a_o = \frac{2 \cdot zu + 2 \cdot uk - 2 \cdot ou - 2 \cdot un}{2 \cdot zu + 2 \cdot uk} \cdot 100 = \frac{zu + uk - ou - un}{zu + uk} \cdot 100. \quad (42)$$

После подстановки в формулу (42) zu , uk , ou и un она примет вид:

$$a_o = \frac{\sqrt{(4 - K_{hy}^2) \cdot K^2 + 4 \cdot K_{hy}^2 \cdot K_{HY}^2} + \sqrt{4 + K_{hy}^2 (4 \cdot K_{HY}^2 - 1)} - (K + 1) \cdot \sqrt{4 - K_{hy}^2}}{\sqrt{(4 - K_{hy}^2) \cdot K^2 + 4 \cdot K_{hy}^2 \cdot K_{HY}^2} + \sqrt{4 + K_{hy}^2 (4 \cdot K_{HY}^2 - 1)}} \cdot 100. \quad (43)$$

Коэффициент K введен в формулу для определения фактической геометрической плотности ткани по утку, оказывает существенное влияние на определение уработки нитей в ткани, от которой в значительной мере зависит поверхностная плотность ткани.

Таким образом, по геометрическим моделям строения полутораслойных переплетений с дополнительным утком выведены формулы для расчёта основных параметров строения тканей.

Проектирование полутораслойной ткани по заданной поверхностной плотности, сырьевому составу и линейной плотности нитей включает следующие этапы: определение уработки нитей в ткани, определение плотности ткани по основе и утку, определение расчетной поверхностной плотности суровой и готовой ткани.

В этом блоке кроме выходных параметров построения заправочного рисунка дополнительно вводят: порядок фазы строения K_{ho} , K_{hy} , число взаимных пересечений нитей основы и утка: t_o , t_{y1} , t_{y2} — для тканей с дополнительным утком, t_y , t_{o1} , t_{o2} — для тканей с дополнительной основой, коэффициент смятия нитей основы и утка, коэффициент наполнения ткани

волокнистым материалом по основе и утку, параметры отделки (усадка ткани по основе и утку, изменение массы ткани в отделке), поверхностную плотность готовой ткани. Заданная поверхностная плотность вводится для определения процента ошибки, полученной в результате проектирования. Проектирование полутораслойных тканей производится автоматически по двум вариантам методик проектирования: с учетом поправочного коэффициента и по стандартной методике.

Программа имеет пустое поле для ввода комментариев к печати, названия ткани или расчета. Данные проектирования могут быть также сохранены в памяти компьютера для использования в качестве входных данных для заправочного расчёта или распечатаны. Таким образом, автоматизированное проектирование производится в диалоговом режиме, при этом используется привычная форма и структура данных, при необходимости система выдаёт подсказки с пояснениями, сообщает о допущенных ошибках.

Выходные данные блока «Проектирование ткани»: плотность готовой ткани по основе и утку, уработка ткани по основе и по утку, поверхностная плотность ткани, могут являться входными значениями для блока последнего элемента в главном меню САПР «Заправочный расчёт ткани». Возможен также ввод значений в ручном режиме.

На основе созданного комплекса была спроектирована и выработана на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» опытная партия чистольняных костюмных тканей из чистольняной пряжи линейной плотности 56 текс в основе и утке в количестве 300 пог. м. Переплетение ткани полутораслойное с дополнительным утком. Ткань имеет порядок фазы строения, близкий к V, то есть ее строение приближается к квадратному. В ткани нити основы и утка имеют поперечное сечение в виде круга. Однако площадь поперечного сечения нитей основы и утка по сравнению с площадью поперечного сечения нити на початке уменьшается на коэффициент смятия τ , причем уточная нить деформируется в ткани в большей степени, чем основная.

Параметры отделки ткани принимаем на основании экспериментальных исследований физико-механических свойств. Нити утка располагаются в двух слоях – верхнем и нижнем. Коэффициенты наполнения ткани волокнистым материалом по утку верхнего и нижнего слоёв приблизительно равны, так как для верхнего и нижнего слоев использована одинаковая пряжа. Нити основы переплетаются с нитями как верхнего, так и нижнего утков, переходя из верхнего в нижний слой. Условия работы основных нитей наиболее напряженные.

Коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по утку определяем для верхнего и нижнего слоев отдельно, а по основе – в целом для ткани, поэтому коэффициент наполнения ткани по основе

должен быть больше, чем коэффициенты наполнения ткани по утку в слоях.

Спроектированная ткань вырабатывалась на станке СТБ-2-180 с кулачковым зевобразовательным механизмом. Поверхностная плотность выработанной ткани отличается от заданных значений на 3,8 %. Так как отклонение по поверхностной плотности находится в пределах 5 %, то достоверность выведенных формул, по которым проводились расчёты проектирования ткани, достаточно высока, и их можно использовать в практике проектирования. Для промышленной апробации образцы были направлены на швейные предприятия Республики Беларусь. САПР полутораслойных тканей внедрена в учебный процесс УО «ВГТУ» и в производство на РУПТП «Оршанский льнокомбинат».

Использование данного программного продукта позволяет на основе спроектированных образцов оперативно создавать коллекции новых тканей за счет изменения рисунков переплетений, фактур, использования различных колористических решений, что в итоге способствует более эффективному продвижению разработок на рынок, и, соответственно, поможет участию в коммерческих предложениях, снижению загруженности инженерно-технического персонала и повышению его творческого потенциала.

Выводы

Разработана функциональная схема программного продукта по созданию полутораслойных тканей, использование которой позволяет получать самые неожиданные модификации известных переплетений и обеспечивать автоматический подбор переплетений для проектирований тканей из компьютерного банка данных с использованием количественных и качественных показателей для достижения заданных фактурных эффектов на ткани. Программный продукт помогает визуализировать на экране монитора каждую стадию проектирования ткани, выполнять проектирование ткани по заданной поверхностной плотности и производить заправочный расчет, оперативно вносить изменения по желанию проектировщика в ручном режиме и сохранять результаты в памяти машины или выводить их на печать. Получены математические зависимости для расчёта основных параметров строения полутораслойных тканей, учитывающие сырьевой состав, деформацию нитей в процессе тканеобразования на станке, линейную плотность нитей основы и утка, плотность по основе и утку, переплетение. В формулы для расчёта уработки основных нитей в полутораслойных тканях введен коэффициент, учитывающий фактическое расстояние между нитями в ткани.

ГЛАВА 7. ТЕКСТИЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ СПОСОБОМ ИМПРЕГНИРОВАНИЯ ТКАНОЙ ОСНОВЫ

В настоящее время научно-технический прогресс практически немислим без развития производства композиционных материалов, использование которых постоянно расширяется в различных отраслях народного хозяйства. В ассортименте композиционных материалов большой интерес вызывают композиционные материалы, в которых в качестве армирующей основы используются текстильные элементы [1, 2, 3, 4].

В настоящее время одним из эффективных способов получения композиционных материалов, армированных текстильными полотнами, является импрегнирование (пропитывание) тканого полотна полимерной композицией определенного состава на плюсовках методом погружения полотна в ванну с последующим отжимом, сушкой и термофиксацией. Для выбора оптимальных параметров импрегнирования необходимо учитывать следующие показатели ткани: вид и линейная плотность используемого сырья, плотности ткани по основе и утку, вид переплетения тканой основы композита и ее пористость [5, 6, 7, 8].

Основными недостатками существующих в мире композиционных материалов с тканой основой, полученных способом импрегнирования, являются: невозможность придания готовому композиту в процессе однократной пропитки комплекса специальных свойств, невозможность получения композитов широкого спектра назначения с высокими качественными показателями из-за неточно спроектированных структур тканых основ, неверно рассчитанных величин их пористости и, как следствие, неправильно подобранных параметров пропитки. Это влечет за собой снижение потребительского спроса. Получаемые композиционные материалы имеют ограниченную область применения [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Следовательно, разработка технологии композиционных материалов широкого ассортимента с тканой основой заданной пористости, полученных способом ее импрегнирования, является актуальной и практически значимой задачей, решение которой позволит освоить выпуск новой для Республики Беларусь конкурентоспособной продукции с улучшенными свойствами, создаст условия для снижения объема импорта аналогичных материалов из зарубежных стран.

Для получения композиционных материалов с тканой основой заданной пористости разработана схема технологического процесса (рисунок 1). Отличительной особенностью разработанной технологии

является сокращение длительности производственного цикла за счет использования поточной линии, и, как следствие, сокращение потребности организации в оборотных средствах.

Для наработки тканой армирующей основы композиционного материала способом импрегнирования наилучшими по прочностным характеристикам, степени гидрофильности и ценовым показателям являются вискозные многофиламентные (1000 филаментов) комплексные нити линейных плотностей 195 текс для основы и 390 текс для утка производства ОАО «Светлогорск Химволокно».

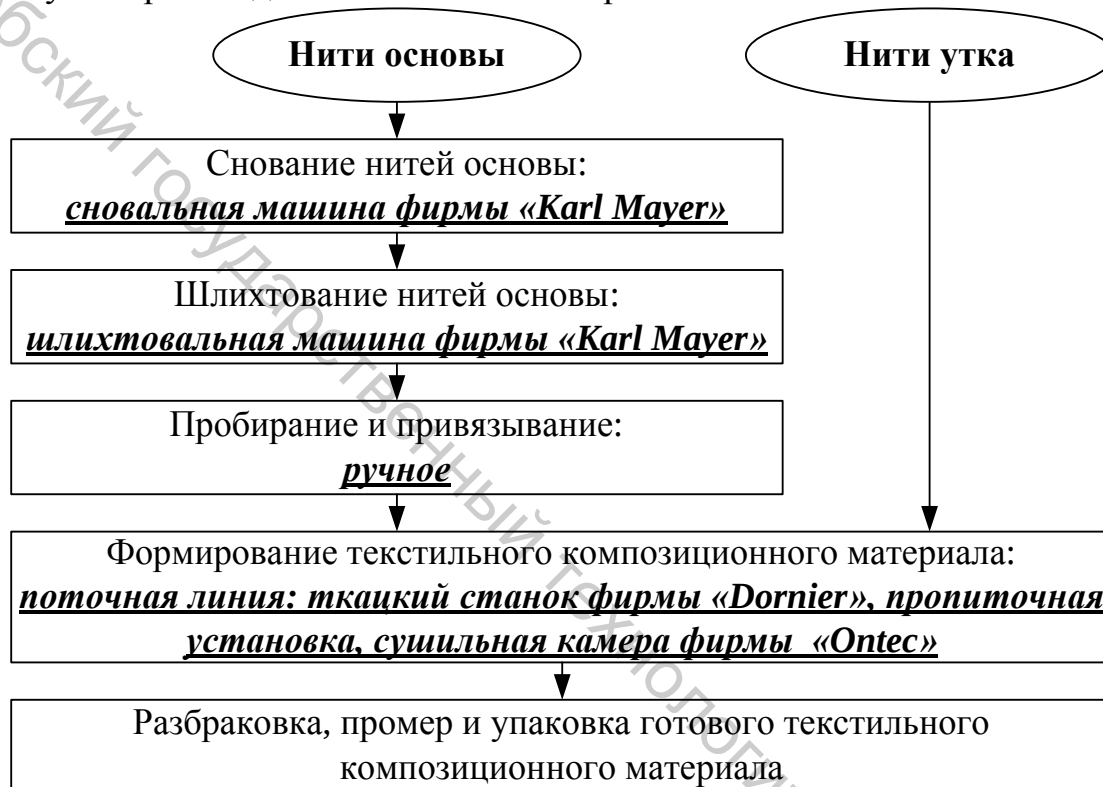


Рисунок 1 – Схема технологического процесса получения композита

Разработан экспресс-метод проектирования структуры тканой основы композиционного материала с целью определения оптимальной величины сквозной пористости через отношение коэффициентов уплотненности [28, 29]. На рисунке 2 представлен заправочный рисунок разработанной тканой основы композиционного материала.

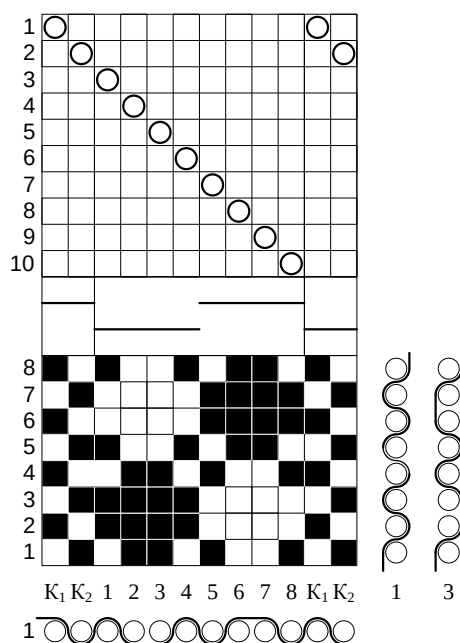


Рисунок 2 – Заправочный рисунок тканой основы композиционного материала

$$q = \frac{K_{уп\phi}}{K_{уп\max}}, \quad (1)$$

где $K_{уп\phi}$ – фактический коэффициент уплотненности по Букаеву П.Т., рассчитанный для проектируемого комбинированного переплетения по формуле (2); $K_{уп\max}$ – коэффициент уплотненности при максимальном наполнении, определяемый путем преобразования формулы В.П. Складникова в формулу (3).

Формула В.П. Складникова учитывает в переплетении максимальное количество свободных полей с 1-го по 6-й вид, тогда как предложенная формула (3) учитывает наличие свободных полей с 4-го по 6-й вид, присутствующих в рассматриваемом комбинированном переплетении [16, 17, 18, 19].

$$K_{уп\phi} = \frac{C_{o(y)}^2 \cdot (P_o^2 \cdot T_o + P_y^2 \cdot T_y) \cdot \left(\sum \frac{1}{n_{fo}} + \sum \frac{1}{n_{fy}} \right)_{O(y)_R}}{316^2 \cdot t_{O(y)_{CP}} \cdot R_{O(y)}}, \quad (2)$$

$$K_{уп\max} = \frac{6R_oR_y - (2n_{CB} + 0,625n_{CB4} + 0,75n_{CB5} + n_{CB6})}{6R_oR_y}, \quad (3)$$

где $C_{o(y)}$ – коэффициент сырьевого состава нитей основы и утка, соответственно; P_o , P_y – плотность тканой основы по основе и утку, соответственно, нит/см; T_o , T_y – линейная плотность нитей основы и

утка, соответственно, текс; n_{fo}, n_{fy} – количество основных и уточных перекрытий, расположенных подряд на каждой нити основы и утка в пределах раппорта; $t_{o(y)}$ – число пересечений утка основой и основы утком, соответственно, в пределах раппорта рассматриваемого переплетения; $R_{o(y)}$ – раппорт переплетения по основе и утку, соответственно; $n_{CB4}, n_{CB5}, n_{CB6}, n_{CB}$ – количество свободных полей четвертого, пятого и шестого вида и общее количество свободных полей, соответственно.

Теоретическое значение сквозной пористости, %:

$$P_{R_{скв.г.}} = 100 - \frac{q \cdot 100}{q_o} - \frac{q \cdot 100}{q_y} + 0,01 \cdot \frac{q \cdot 100}{q_o} \cdot \frac{q \cdot 100}{q_y}, \quad (4)$$

где q_o, q_y – относительный коэффициент вдоль системы нитей основы и утка в %, соответственно, определяемый по формуле

$$q_{o(y)} = \frac{q}{z_{o(y)}} \cdot 100, \quad (5)$$

где $z_{o(y)}$ – заполнение тканой основы вдоль нитей основы и утка, соответственно, %.

Для оценки адекватности полученного теоретического значения величины сквозной пористости разработана компьютерная программа, определяющая фактическую сквозную пористость по геометрическим размерам тканой основы и составляющих ее пор. При оценке адекватности установлено, что теоретическое значение отличается от фактического на 0,25 % за счет учтенной величины деформации нитей основы и утка. Следовательно, математические зависимости (1, 2, 3, 4 и 5) позволяют с высокой точностью рассчитать величину сквозной пористости тканой основы и оценить возможность ее использования в качестве армирующей. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Наименование параметра	Значение параметра
Фактический коэффициент уплотненности	0,22
Коэффициент уплотненности при максимальном наполнении	0,77
Коэффициент соотношения	0,29
Коэффициент соотношения вдоль системы нитей, %:	
- основы	0,61
- утка	0,54
Теоретическое значение сквозной пористости, %	24,4

Наработанная тканая основа заданной пористости исследована на основные физико-механические свойства (таблица 2).

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства тканой основы КТМ

Наименование показателя	Значение показателя
Разрывная нагрузка, Н:	
- по основе	1396
- по утку	1970
Разрывное удлинение, %:	
- по основе	21,7
- по утку	17,9
Стойкость к истиранию, циклов	1000

Для завершения процесса получения готового композита с заданной пористостью осуществлен выбор полимерной композиции, обеспечивающей готовому композиту каркасность, фиксированную структуру, стабильность линейных размеров – дисперсия стирол-акрилата «Appretan № 9616» фирмы «Clariant» (Швейцария).

Установлено, что в процессе формирования композита происходит механическое воздействие отжимных валов и направляющих валиков пропиточной ванны, вследствие чего поры принимают форму щели [18]. Скорость импрегнирования разработанного композита описывается математической моделью:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\sigma \cdot \cos \theta}{2 \cdot \eta \cdot h} \cdot \frac{S}{P}, \quad (6)$$

где h – высота подъема жидкости, м; t – продолжительность подъема жидкости, с; σ – поверхностное натяжение, Н/м; θ – краевой угол смачивания, град; η – вязкость, Па·с; S – площадь щелевидной поры, м²; P – периметр щелевидной поры, м.

Установлены оптимальные параметры процесса импрегнирования тканой основы композиционного материала на поточной линии: температура пропиточной ванны – 20 °С; концентрация полимерной пропитывающей композиции зависит от целевого назначения готового композита и варьируется в пределах от 100 г/л до 500 г/л.

В результате экспериментальных и теоретических исследований сушки и термофиксации композита в инфракрасной сушильной камере установлены оптимальные параметры данных процессов: сушка – при температуре 120 °С в течение 306 секунд (11 секций сушильной камеры), термофиксация дисперсии стирол-акрилата на поверхности текстильного материала – при температуре 160 °С в течение 28 секунд (1 секция сушильной камеры).

Определены основные направления использования готового КТМ: выработка галантерейных изделий, жалюзи, материал для верха обуви, текстильные настенные покрытия (обои), отделка корпусной мебели. В зависимости от назначения для полученных КТМ разработана номенклатура показателей качества, согласно ГОСТ 23432 – 89 «Полотна декоративные. Общие технические условия», ГОСТ 29098 – 91 «Ткани для галантерейных изделий. Общие технические условия», ГОСТ 19196 – 93 «Ткани обувные. Общие технические условия».

Разработаны и запатентованы рецептуры составов полимерных композиций, которые позволяют получать композиционные материалы с тканой основой заданной пористости со специальными свойствами: каркасность, фиксированная структура, водо-, масло-, грязеотталкивание, огне-, термостойкость.

Осуществлена оптимизация технологических параметров процесса формирования композита, представленная в таблице 3.

Таблица 3 – Оптимальные условия формирования композита с тканой основой заданной пористости

Назначение КТМ	Условия процесса формирования КТМ		Состав полимерной композиции и концентрации ее компонентов в расчете грамм на 1 литр		
	Температура сушки / термофиксации, °С	Время сушки / термофиксации, с			
Для верха обуви	120/160	306/28	«Appretan № 9616» – 400	«Nuva FHN» – 50	H ₂ O – 550 мл
Для галантерейных изделий			«Appretan № 9616» – 350	«Nuva FHN» – 50	H ₂ O – 600 мл
Для текстильных настенных покрытий			«Appretan № 9616» – 200	«Pekoflam DPN-1» – 50	H ₂ O – 750 мл
Для жалюзи			«Appretan № 9616» – 400	«Pekoflam DPN-1» – 40	H ₂ O – 560 мл
Для декоративной отделки корпусной мебели			«Appretan № 9616» – 500	«Pekoflam DPN-1» – 40	H ₂ O – 460 мл

На технологию композиционных материалов с тканой основой заданной пористости разработан проект технологического регламента.

В результате исследования основных физико-механических и эксплуатационных свойств разработанных композитов установлено, что они имеют высокие показатели качества, соответствующие нормативно-технической документации на аналогичные материалы [30]. Проведен сравнительный анализ исследованных свойств разработанного материала до и после процесса импрегнирования (рисунок 3 и 4): разрывная нагрузка по основе увеличилась на 1,2 %, по утку – на 17 %; разрывное удлинение увеличилось по основе на 6,1 %, по утку – на 36,7 %; жесткость и каркаемость увеличилась в продольном направлении на 66,5 %, в поперечном направлении – на 64,9 %; стойкость к истиранию увеличилась на 100 %; удельное поверхностное электрическое сопротивление увеличилось на 11,8 % [20, 21, 22, 23, 24].

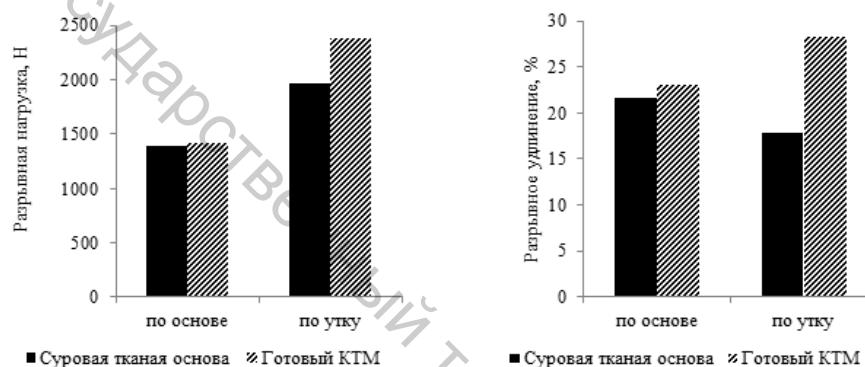


Рисунок 3 – Сравнительный анализ основных свойств суровой тканой основы и готового композита

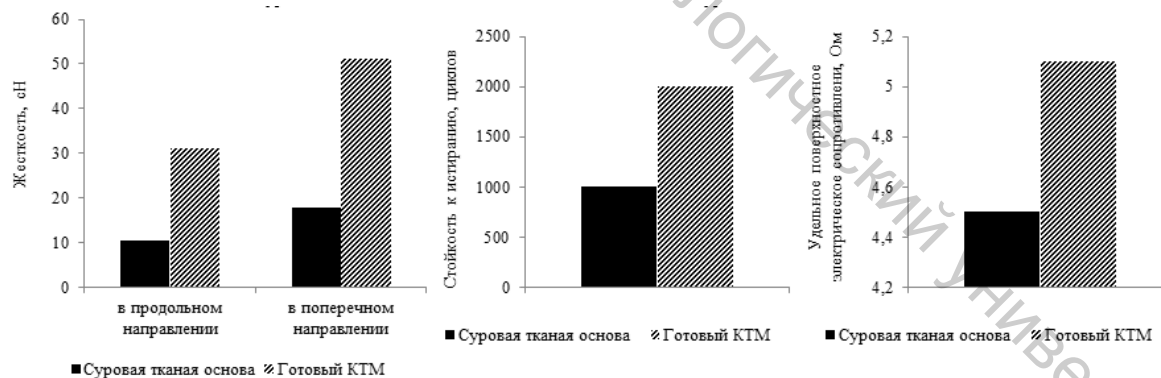


Рисунок 4 – Сравнительный анализ основных свойств суровой тканой основы и готового композита

Разработанные композиционные материалы обладают комплексом специальных свойств, что доказывает их конкурентоспособность на мировом рынке и возможность осуществления программы импортозамещения. На полученные композиционные материалы

разработан проект технических условий ТУ ВУ 300031282.070 – 2013 «Материалы текстильные композиционные».

Разработанная технология композиционных материалов с тканой основой заданной пористости внедрена в производство ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей». Производственная апробация новых материалов осуществлена по следующим направлениям: галантерейные изделия (сумки) – ЧП «ВитМа»; материал для верха обуви – СООО «Белвест»; декоративные элементы корпусной мебели – ЧСУП «Ремрайд»; текстильное декоративное покрытие для стен (текстильные обои) – ОАО «Белорусские обои»; жалюзи – проработка осуществлялась в производственных условиях ОДО «БиС».

Также в рамках данной тематики проведены исследования распределения дисперсии стирол-акрилата по объему тканой основы при формировании текстильного композиционного материала.

Одной из основных технологических операций, связанных с производством композиционных материалов, является пропитка армирующей структуры полимерным связующим. Особенно важен этот аспект при использовании в качестве основы композитов готовых волокнистых полотен или изделий, к которым, в первую очередь, следует отнести тканые полотна, имеющие заданную потребителем форму [25, 26].

Для достижения высоких прочностных свойств композитов пропитка тканой основы может осуществляться следующими методами: протягиванием через ванну со связующим; окунанием волокнистого материала; просасыванием связующего через слой волокнистого материала под действием разности давлений; методом капиллярного насыщения; комбинированными методами.

С точки зрения технологического упрощения, снижения трудоемкости и энергетических затрат процесса пропитки, наиболее предпочтительным представляется метод капиллярного подъема. При этом расход связующего и интенсивность пропитки будут зависеть от пористости тканой основы, свойств связующего и темпов его впитывания [27].

На качественные показатели готового композита влияет равномерность адсорбированной дисперсии полимерного связующего в объеме тканой основы [28].

Целью проведенных исследований является определение зависимости относительного содержания полимерного связующего в тканом полотне от свойств полимерной композиции и волокнистого материала, а также равномерность распределения связующего в тканой основе при формировании текстильных композиционных материалов.

Для исследования зависимости относительного содержания и равномерности распределения полимерного связующего в тканом полотне от свойств полимерной композиции и волокнистого материала использовалась водная дисперсия стирол-акрилата.

Процентное содержание адсорбированной дисперсии стирол-акрилата в объеме тканой основы для предельных значений ее концентрации в полимерной композиции (100 и 500 г/л) при температуре процесса импрегнирования 20, 40 и 60 °С определяли «методом сухого привеса» – наиболее распространенный метод (рисунки 5 и 6) [18, 24].

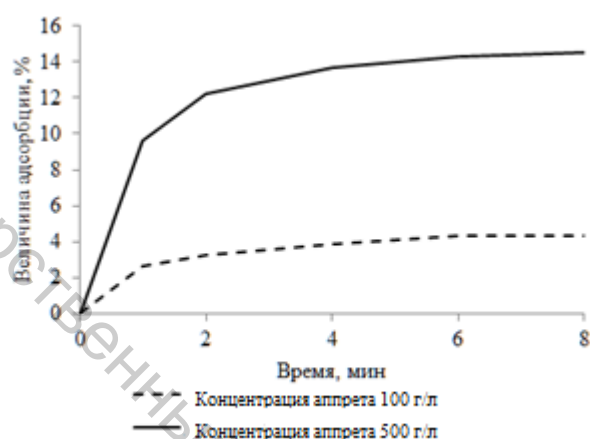


Рисунок 5 – Кинетические кривые адсорбции стирол-акрилата различной концентрации на тканой основе композиционного материала



Рисунок 6 – Кинетические кривые адсорбции стирол-акрилата на тканой основе композиционного материала при различной температуре процесса импрегнирования

Взвешенный образец тканой основы 10×10 см подвергают в определенных условиях пропитыванию полимерной композицией, затем высушивают и снова взвешивают. Привес (величина адсорбции), выраженный в процентах от массы исходного материала, служит количественной характеристикой пропитывающих свойств полимерной композиции.

Анализ представленных графических зависимостей показывает, что повышение концентрации дисперсии стирол-акрилата в полимерной композиции увеличивает эффективность пропитывания. Процесс адсорбции протекает с высокой скоростью в начальный период импрегнирования материала (в течение 1 – 2 минут). Далее механизм и скорость переноса сорбата зависят от концентрации стирол-акрилата и температуры импрегнирования: величина адсорбции тем выше, чем выше концентрация и температура.

Равномерность и скорость адсорбции также зависит от структуры тканой основы: чем больше плотность тканой основы, тем быстрее наступает адсорбционное равновесие. Увеличение сквозной пористости тканой основы приводит к замедлению процесса адсорбции.

Однако тканая основа является гетеропористой системой с сообщающимися капиллярами, следовательно, размер частиц дисперсии стирол-акрилата, вязкость, сорбционная устойчивость малозначительно влияют на процесс пропитывания.

При повышении температуры в пропиточной ванне улучшается доступность макропор волокнистого материала для проникновения макромолекул стирол-акрилата. Следовательно, повышение температуры пропитывания значительно улучшает проникновение полимерной композиции в поры тканой основы композиционного материала, однако чрезмерный и длительный нагрев пропитывающей дисперсии стирол-акрилата приводит к ее астабилизации и коагуляции.

Разработана математическая модель, позволяющая определить процентное содержания адсорбированной дисперсии стирол-акрилата в объеме тканой основы КТМ, % :

$$N_{\text{adc.}} = \frac{C \cdot [k_0 \cdot \gamma_0 (\gamma_s \cdot \varepsilon - m_H) + 640 \cdot \gamma_s \sqrt{\gamma_0 \cdot \eta \cdot v}]}{C \cdot [k_0 \cdot \gamma_0 (\gamma_s \cdot \varepsilon - m_H) + 640 \cdot \gamma_s \sqrt{\gamma_0 \cdot \eta \cdot v}] + \gamma_s \cdot m_H} \cdot 100, \quad (7)$$

где C – концентрация дисперсии в полимерной композиции, г/л; k_0 – коэффициент пропитывания, учитывающий степень заполнения пор полимерной композицией; γ_0 – плотность полимерной композиции, кг/м³; γ_s – плотность волокна, кг/м³; ε – толщина тканой основы, м; m_H – масса 1 м² тканой основы, кг; v – скорость движения тканой основы на поточной линии, м/с; η – вязкость, Па·с.

Известно, что при условии, что все поры тканой основы композиционного материала при пропитке полимерной композицией заполнены, то масса связующего m_1 , поглощенная порами тканой основы на 1 м^2 , кг:

$$m_1 = \omega \cdot \gamma_0 \cdot \epsilon, \quad (8)$$

где ω – относительная объемная пористость тканой основы (общая пористость).

Толщина тканой основы, м:

$$\epsilon = h_o + \eta_{os}, \quad (9)$$

где h_o – высота волны изгиба нитей основы, м; η_{os} – коэффициент смятия нитей основы для сечения эллипс по вертикальной оси.

Если часть объема пор не будет заполнена связующим или в нем окажутся пузырьки воздуха, то масса связующего, кг:

$$m_1 = k_0 \cdot \omega \cdot \gamma_0 \cdot \epsilon. \quad (10)$$

Коэффициент пропитывания определяется следующим образом:

$$k_0 = \frac{w_a}{P_R}, \quad (11)$$

где w_a – массовая доля аппрета (полимерной композиции) после пропитывания, %; P_R – общая пористость материала, %.

Общая пористость материала состоит из микроструктуры волокон, макроструктуры всего материала и сквозной пористости между нитями в переплетении.

В свою очередь массовая доля полимерной композиции, %

$$w_a = \frac{P_2 \cdot P_1}{V_1 \cdot \gamma_o} \cdot 100, \quad (12)$$

где P_2 – масса образца после пребывания в аппретирующем растворе, кг; P_1 – масса сухого образца, кг; V_1 – объем образца, м^3 .

Общая пористость материала, %

$$P_R = \frac{V_p}{V_1} \cdot 100, \quad (13)$$

где V_p – объем пор, м^3 :

$$V_P = V_1 \cdot \frac{P_1}{\gamma_\epsilon} \quad (14)$$

В свою очередь относительная объемная пористость тканой основы может быть выражена уравнением

$$\omega = \frac{\gamma_\epsilon \cdot \epsilon \cdot m_H}{\gamma_\epsilon \cdot \epsilon} \quad (15)$$

Подставляя значение ω в уравнение (10), получим выражение для m_1 , кг

$$m_1 = \frac{k_0 \cdot \gamma_0 \cdot (\gamma_\epsilon \cdot \epsilon \cdot m_H)}{\gamma_\epsilon} \quad (16)$$

Однако при выходе тканой основы из пропиточной ванны вследствие смачивания на обеих поверхностях будут образовываться тонкие слои полимерной композиции с толщинами h_1 .

Если исходить из уравнения, связывающего динамическую вязкость пропиточного состава η со скоростью движения тканой основы v при выходе ее из пропиточной ванны, то толщина слоя h_1 , м:

$$h_1 = \sqrt{\frac{v \cdot \eta}{\gamma_0 \cdot g}} \quad (17)$$

Тогда количество связующего, наносимое на обе стороны тканой основы на 1 м² m_2 , кг

$$m_2 = 2 \cdot h_1 \cdot \gamma_0 \quad (18)$$

Или с учетом уравнения (17) с некоторым округлением количество связующего, кг

$$m_2 = 0,64 \cdot \sqrt{\gamma_0 \cdot \eta \cdot v} \quad (19)$$

Из анализа математической модели (7) при рассмотрении механизма процесса пропитки следует, что при прочих равных условиях:

– с увеличением плотности пропитываемой полимерной композиции γ_0 увеличивается относительное содержание полимерной композиции в пропитанном тканом полотне, приближаясь постепенно к

постоянной величине (так как с увеличением плотности вязкость раствора увеличивается быстрее);

– с увеличением скорости v выхода тканого полотна из пропиточной ванны или с увеличением вязкости η пропитывающей дисперсии также увеличивается относительное содержание полимерной композиции (за счет увеличения толщины) с той же тенденцией, что и при увеличении плотности;

– с увеличением плотности волокон тканой основы относительное количество полимерной композиции в пропитанном тканом полотне незначительно уменьшается, так же, как и с увеличением толщины наполнителя.

Полученные расчетные и экспериментальные данные представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные и экспериментальные данные

Показатель	Обозначение	Расчетные значения		Экспериментальные значения	
		Концентрация 100 г/л	Концентрация 500 г/л	Концентрация 100 г/л	Концентрация 500 г/л
1	2	3	4	5	6
Масса образца, г	P_1	–		4,9	
Масса образца после аппретирования, г	P_2	–		5,5	6,0
Плотность волокна, г/см ³	γ_B	1,5		–	
Длина образца, см	l	10,0		–	
Ширина образца, см	b	10,0		–	
Толщина (высота), см	b	0,1		–	
Объем образца, см ³	V_1	12,0		–	
Объем пор, см ³	V_P	8,8		–	
Общая пористость материала, %	P_R	73,3		–	
Массовая доля аппрета (полимерной композиции) после пропитывания, %	w_a	5,0	9,2	–	

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6
Коэффициент пропитывания	k	0,1	0,1	–	
Относительная объемная пористость	ω	0,7		–	
Масса связующего, поглощенная порами тканой основы на 1 м ² , кг	m_1	0,1	0,1	–	
Толщина слоя, м	h_1	0,0002900	0,0000957	–	
Количество связующего, наносимое на обе стороны тканой основы на 1 м ² , кг	m_2	0,608	0,201	–	
Процентное содержание адсорбированной дисперсии стирол-акрилата, %	N_{adc}	4,23	14,50	4,30	

Установлено, что отклонение теоретических значений от экспериментальных составляет 1,58 %, что подтверждает адекватность созданной математической модели (7), следовательно, она может быть использована для определения процентного содержания адсорбированной дисперсии в объеме тканой основы композиционного материала в процессе импрегнирования.

Недостаток метода сухого привеса заключается в том, что он не учитывает отфильтровывание частиц дисперсии стирол-акрилата. Рассмотрен специальный метод, учитывающий способность полимерной композиции равномерно пропитывать тканую основу.

Согласно данному методу, количество пропитывающего вещества определяется путем взвешивания нитей утка длиной 10 см и вычитания из найденного значения веса таких же нитей, взятых из непропитанной тканой основы композиционного материала. Продолжительность обработки – 15 минут, концентрация дисперсии стирол-акрилата – 100 и 500 г/л, температура обработки – 20 °С.

Результаты проведенных экспериментов представлены графически на рисунках 7 и 8.

Анализируя представленные графические зависимости, можно сделать вывод, что количество дисперсной фазы, отложившейся на различных нитях утка, практически одинаково. Коэффициенты вариации полученных данных равны 0,25 % и 0,21 % соответственно. Такие значения данного показателя обусловлены удачно выбранным переплетением тканой основы – просвечивающее на базе репса 4/4, а также видом используемого сырья – рыхлой гидрофильной комплексной вискозной нитью.

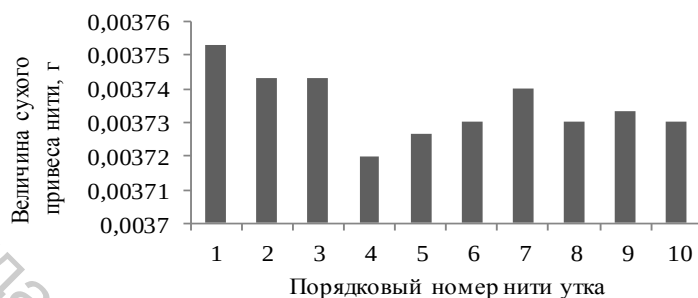


Рисунок 7 – Величина сухого привеса различных нитей утка тканой основы композиционного материала при концентрации стирол-акрилата – 100 г/л

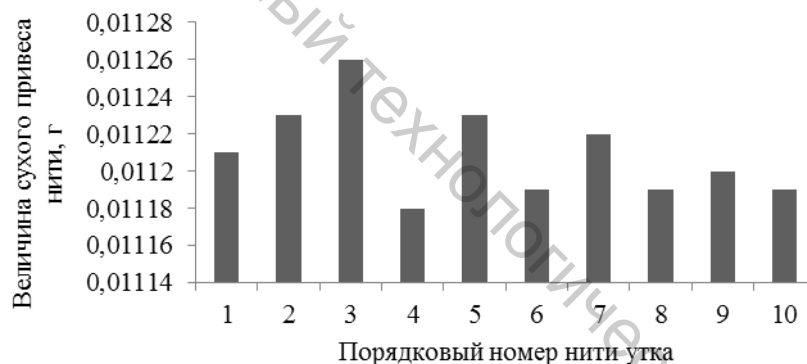


Рисунок 8 – Величина сухого привеса различных нитей утка тканой основы композиционного материала при концентрации стирол-акрилата – 500 г/л

В свою очередь следует заметить, что значение концентрации стирол-акрилата играет незначительную роль при выбранных режимах обработки и параметрах строения тканой основы.

Среднее количество отложившейся дисперсной фазы на тканой основе при предельных значениях концентрации стирол-акрилата составляет 9,5 % и 28,7 % соответственно.

Таким образом, путем теоретических и экспериментальных исследований установлено, что на качественные показатели готового

композита влияет равномерность адсорбированной дисперсии полимерного связующего в объеме тканой основы.

Проведены экспериментальные исследования и создана математическая модель, позволяющая определить процентное содержание адсорбированной дисперсии стирол-акрилата в объеме тканой основы композиционного материала.

Установлена способность полимерной композиции равномерно пропитывать тканую основу.

Выводы:

— разработан высокоэффективный технологический процесс получения композиционных материалов с тканой основой заданной пористости, обеспечивающий выпуск конкурентоспособных композиционных материалов с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, позволяющий сократить потребности предприятия в оборотных средствах за счет сокращения длительности производственного цикла при использовании поточной линии;

— создан экспресс-метод проектирования структуры тканой армирующей основы композиционного материала;

— разработан процесс импрегнирования тканой основы заданной пористости, отличающийся от существующих тем, что его основные параметры (температура и концентрация полимерной композиции) позволяют корректировать скорость процесса формирования композита и равномерность адсорбированного в объеме тканой основы полимера при помощи созданных математических моделей;

— рекомендованы рецептуры полимерной композиции для многофункциональной отделки материалов в процессе однократной пропитки, использование которых позволяет получать композиционные материалы с тканой основой заданной пористости, обладающие специальными свойствами: жесткость, водо-, масло-, грязеотталкивание, огне-, термостойкость;

— разработан ассортимент композиционных материалов с тканой основой заданной пористости, позволяющий освоить на белорусских предприятиях промышленный выпуск новой конкурентоспособной продукции с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

ГЛАВА 8. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В условиях существующей экологической ситуации в Республике Беларусь перед предприятиями текстильной и легкой промышленности остро стоит проблема использования текстильных отходов. Отходы в виде волокон длиной 2 – 25 мм не используются, а складываются или захороняются. Поэтому возникает важная научно-техническая задача, заключающаяся в переработке таких отходов и использования их в качестве вторсырья.

Использование текстильных отходов в качестве исходного сырья для производства нетканых материалов даст возможность получать материалы широкого ассортимента, увеличить их выпуск, снизить себестоимость и тем самым решить экологическую проблему накопления отходов, а также вопрос импортозамещения.

Достоинством текстильных отходов является то, что они обладают свойствами волокон, их составляющих, и их нецелесообразно утилизировать. Они должны быть использованы как сырье для материалов декоративного, специального и бытового назначения.

На кафедре ТТМ УО «ВГТУ» разработана технология получения нетканых рулонных материалов одежного назначения с использованием имеющегося на предприятиях Республики Беларусь оборудования.

Технологический процесс включает в себя следующие этапы:

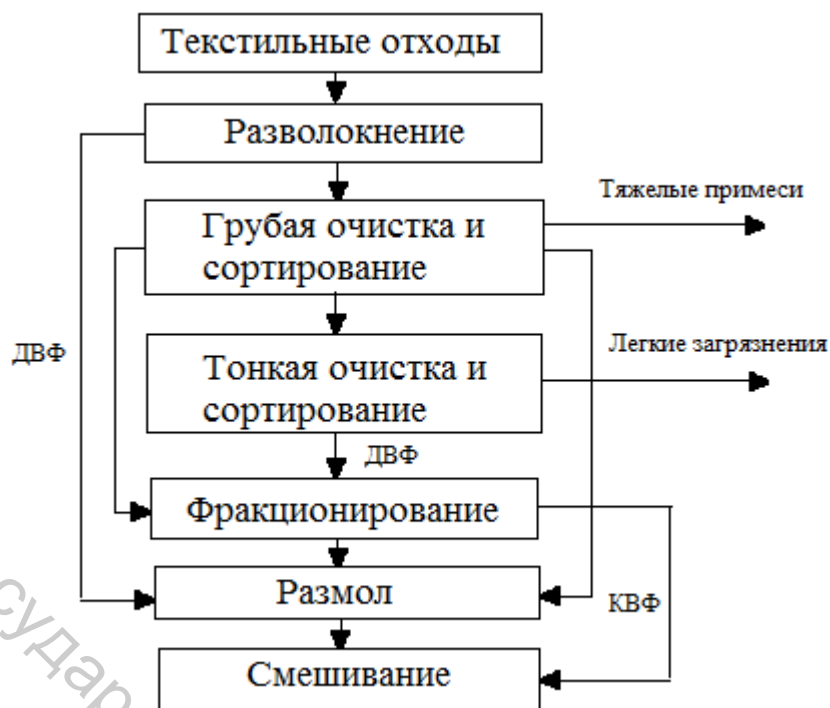
- подготовка текстильных отходов;
- создание композиции (смешивание);
- формирование полотна;
- сушка.

Основная цель подготовки отходов к вторичной переработке при производстве нетканых материалов заключается в получении из коагулированных волокон однородной волокнистой массы, которую можно использовать в композиции.

Задачи подготовки волокнистой массы заключаются в оптимальном удалении нежелательных посторонних примесей, в восстановлении чистоты продукта с учетом сохранения свойств исходных волокон.

При проектировании и выборе технологической цепочки подготовки волокнистой массы исходят из требований к выпускаемой продукции, вида перерабатываемых текстильных отходов и возможностей предприятия.

Общая схема переработки текстильных отходов при производстве нетканых материалов представлена на рисунке 1.



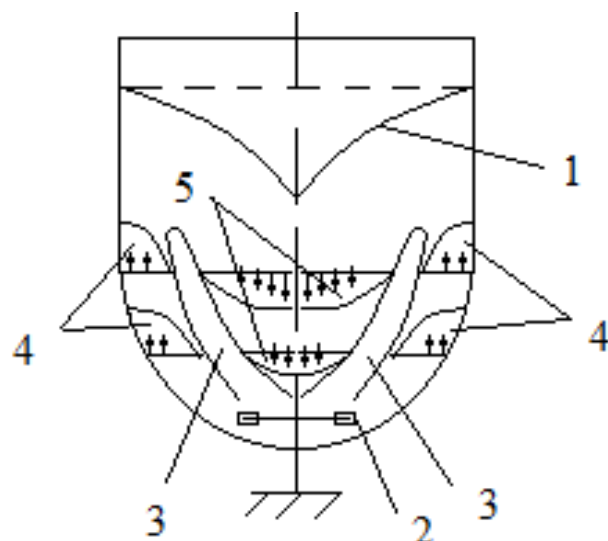
ДВФ – длинноволокнистая фракция, КВФ – коротковолокнистая фракция

Рисунок 1 – Общая схема переработки текстильных отходов при производстве нетканых материалов

Разволокнение массы производится с целью смешивания ее с водой и разделения их на отдельные волокна, для получения суспензии, частичного отделения загрязнений и в случае необходимости (при использовании гидрофобного первичного полуфабриката) смешивание с химическими реагентами. Данный процесс производится в гидроразбивателях.

Движение компонентов массы в гидроразбивателе обеспечивается вращением ротора. Если рассматривать ротор как центробежный вращающийся элемент, то движение волокнистой массы в емкости имеет спиралеобразную траекторию (рисунок 2).

Коагулированные волокна, попадая на лопасти ротора, отбрасываются к стенкам гидроразбивателя и поднимаются по спирали в верхнюю часть емкости (восходящий поток). Доходя до верхней точки, масса начинает двигаться по спирали вниз, возвращаясь к ротору. Таким образом, происходит циркуляция массы, в результате которой на свободной поверхности образуется воронка. Между восходящим и нисходящим потоками образуется переходная зона, характеризующаяся малыми, неустановившимися значениями скоростей движения массы (мертвая зона) [1].



1 – воронка, 2 – ротор, 3 – мертвая зона, 4 – восходящий поток,
5 – нисходящий поток

Рисунок 2 – Схема движения потока волокнистой массы
в гидроразбивателе

В процессе движения коагулированные волокна, попадая на ротор, ударяются о стенки емкости и активно разрушаются. Эффективность воздействия элементов гидроразбивателя тем выше, чем выше скорость движения массы, частота соударений и чем ближе к прямому углу встречи движущейся массы с преградой. Гидродинамическое воздействие на волокна проявляется в полной мере тогда, когда завершается процесс их намокания.

Производительность процесса разволокнения зависит от множества факторов: размер емкости гидроразбивателя, используемого типа ротора, концентрации волокнистой массы [2].

Производительность гидроразбивателя определяется по формуле

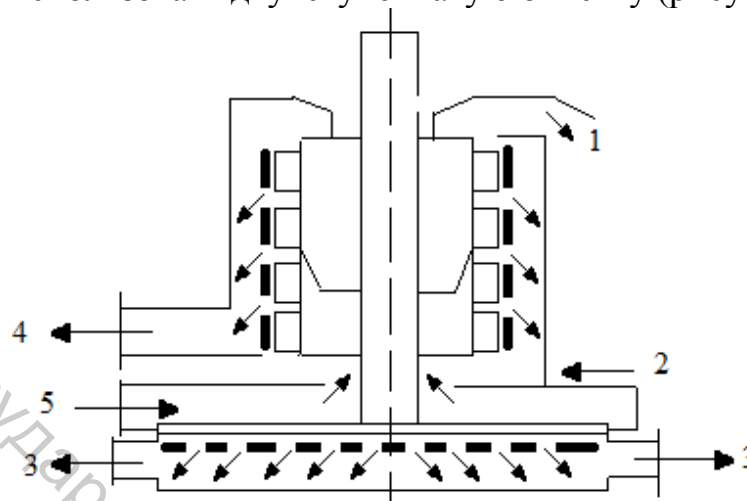
$$P = \eta \cdot \frac{V \cdot c \cdot K}{t}, \text{ т/сут}, \quad (1)$$

где η – коэффициент, зависящий от вида текстильных отходов, V – рабочий объем ванны гидроразбивателя (м^3), c – концентрация массы (%), K – коэффициент использования рабочего времени работы гидроразбивателя (при непрерывной работе $K = 0,8 - 0,9$, при периодической – $K = 0,3 - 0,6$), t – продолжительность процесса разволокнения (мин).

Определенное влияние на процесс разволокнения оказывает температура, с повышением которой повышается интенсивность процесса. Это связано с понижением вязкости воды, благодаря чему она легче проникает в поры волокон.

Процесс очистки происходит в устройствах, оснащенных ситами с круглыми или шлицевыми отверстиями. Однако при попытке удалить

большое количество загрязнений в одну стадию возникают проблемы, связанные с эффективностью работы устройства и повышением степени его износа. Также в процессе удаления посторонних включений происходят потери волокна, которых избежать невозможно. Поэтому рекомендуется использовать двухступенчатую очистку (рисунок 3).



1 – вывод отходов, 2 – подача воды, 3 – выход волокнистой массы первой ступени очистки, 4 – выход волокнистой массы второй ступени очистки, 5 – подача массы

Рисунок 3 – Схема устройства двухступенчатой системы очистки волокнистой массы

Движение массы в устройствах очистки направлено снизу вверх. Очищенная масса из нижней зоны направляется на дальнейшую переработку, а отходы удаляются.

Текстильные отходы после разволокнения представляют собой массу, содержащую волокна разной длины. Для формирования в дальнейшем качественного полотна необходимо массу подвергнуть фракционированию путем размола (резки). Данный процесс позволяет компенсировать нестабильность длины волокон в общей массе.

Таким образом, целью фракционирования является повышение прочностных характеристик готовой продукции.

Для изготовления необходимо использовать синтетические волокна, нарезанные на определенную длину (1 – 6 мм). От качества резки волокон зависит качество водной суспензии, а следовательно, и качество получаемого материала. Волокна необходимо измельчать на строго определенную длину, так как даже небольшое количество непрорезанных волокон способствует хлопьеобразованию при диспергировании.

Основной недостаток резки – сплавление концов волокон в месте среза. Это объясняется термопластичностью большинства синтетических волокон, а также деформацией их под давлением, что

имеет место в момент среза волокна. Наличие сплавленных концов волокон не позволяет при диспергировании в воде разделить их на элементарные волокна. Поэтому для резки синтетических волокон, предлагается резка волокон в мокром состоянии или предварительная пропитка жгутов волокон различными составами. Длина волокон определяется теми свойствами нетканых материалов, которые необходимо получить. Чем больше длина волокна, тем выше показатели прочности. Однако с увеличением длины волокон затрудняется процесс диспергирования их в воде, что приводит к резкому ухудшению структуры полотна. Равномерность распределения волокон в материале является одним из важных факторов, от которого зависит его прочность и внешний вид. В свою очередь, на процесс формования полотна влияет степень однородности суспензии волокон в воде.

Проведенными исследованиями установлено, что при использовании более короткого волокна процесс формования улучшается. Однако это связано с понижением прочности готового полотна, и, наоборот, использование более длинных волокон влечет за собой увеличение прочности материала, но усложняет условия диспергирования [1].

Независимо от типа размалывающего аппарата принцип размола один и тот же. Он заключается в том, что волокнистая суспензия непрерывным потоком поступает к ножам рабочего органа аппарата, состоящего из неподвижно закрепленных ножей (статора) и вращающихся ножей, расположенных на барабане, конусе или диске (роторе). Проходя между ножами ротора и статора, зазор между которыми можно регулировать, волокна подвергаются режущему действию кромок ножей и укорачиваются или расщепляются в продольном направлении, раздавливаются торцовыми поверхностями ножей, расчесываются и фибриллируются.

В результате указанных воздействий волокна при размоле в водной среде претерпевают значительные изменения как в структуре, так и в физико-химических свойствах. При размоле в водной среде с добавлением смачивателей (некаль, кмц, изобутиловый спирт, смачиватели ОП-7, ОП-10 и др.) синтетические волокна укорачиваются до 3 – 6 мм. В случае резки текстильных отходов в мокром состоянии особое значение придается слоистому, фибриллярному строению волокна, содержанию в нем частиц, способствующих набуханию и фибрилляции волокон. Благодаря этим процессам при размоле волокно становится гибким и пластичным, увеличивается связанная поверхность между волокнами и образуются межволоконные связи в готовом полотне.

Процесс фибрилляции заключается в ослаблении и разрушении связей между отдельными фибриллами и микрофибриллами клеточной стенки под влиянием механических воздействий и проникновении воды в межфибриллярные пространства. Фибрилляция может происходить как на поверхности, так и внутри клеточной стенки волокна. В первом случае поверхность волокна разрушается и от нее отделяются фрагменты клеточных оболочек и фибрилл, образуя своеобразный ворс на поверхности волокна, видимый при большом увеличении микроскопа. Такая фибрилляция увеличивает наружную поверхность волокна и его способность к образованию межволоконных связей, однако она ослабляет прочность самого волокна и снижает сопротивление полотна раздиранию. При внутренней фибрилляции отделения фибрилл не происходит, повышается лишь гибкость и пластичность волокон в результате усиленного набухания, ослабления и частичного разрушения связей между фибриллами. Такая фибрилляция сообщает волокну способность к образованию межволоконных связей, не снижая прочности самого волокна, а потому она является более желательной.

Для оптимизации режимов резания учитываются данные по обрабатываемому материалу – линейная плотность, жесткость волокон; данные по измельчителю – размерная характеристика, диапазоны частот вращения, подачи, максимальная толщина резания, мощность резания, тип режущего инструмента, геометрические параметры режущей кромки.

Резание материала представляет процесс, определяемый физико-механическими свойствами разрезаемого материала, геометрией режущего инструмента и взаимным движением материала и инструмента. В процессе резания происходит раздвигание материала режущим инструментом, имеющим заточку в форме клина. В зависимости от характера движения инструмента угол резания может быть равен углу заточки инструмента или меньше его. Соотношение этих углов влияет на чистоту срезанного слоя материала и величину усилия резания.

Выбор принципа резания определяется его возможностью обеспечить выполнение технических требований, предъявляемых к измельченному материалу по длине нарезки и качеству реза. Для удовлетворения всех предъявляемых требований к готовому продукту был выбран принцип комбинированного резания цилиндрической фрезой с вращательным движением фрезы и поступательным движением материала, схожий с принципом разрезания материалов методом ножниц.

Устройство для измельчения осуществляет резание нитей на длину в диапазоне 0,5 – 6 мм. Регулирование длины нарезки производится изменением скорости подачи массы или скорости вращения режущего инструмента.

При комбинированном резании осевая цилиндрическая фреза работает в условиях свободного резания, поэтому на каждом ее зубе имеется только одно лезвие, являющееся главным. Главные лезвия фрезы являются винтовыми линиями, наведенными на цилиндр диаметром D_ϕ , а γ – угол наклона винтовой канавки.

Число ножей ножевого барабана выбирают в зависимости от его диаметра D_ϕ (м) по эмпирической формуле [10]

$$z = k\sqrt{D_\phi}, \text{ шт}, \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от назначения и конструкции ножей (прямые или спиралеобразные).

Согласно В.Ф. Боброву [10], установлено, что при резании материала толщиной t_m (м) и подачей на зуб S_z максимальное число ножей z может быть определено по формуле

$$z = \frac{0,2D_\phi}{t_{m \max}^{0.5} S_{z \max}^{0.5}}. \quad (3)$$

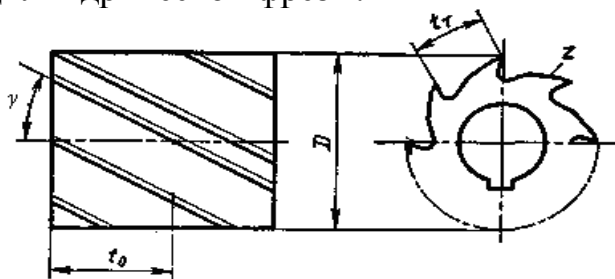
Из формулы следует, что при увеличении толщины материала и скорости подачи число ножей ножевого барабана должно быть уменьшено. В этом случае t_m – расстояние между двумя зубьями по торцу – торцевой шаг равен:

$$t_m = \frac{\pi D_\phi}{z}, \text{ м}. \quad (4)$$

Расстояние t_0 между двумя зубьями вдоль оси фрезы – осевой шаг. Связь между осевым и торцевым шагами выражается формулой

$$t_0 = t_m \operatorname{ctg} \gamma, \text{ м}. \quad (5)$$

Передняя поверхность зуба фрезы является линейчатой винтовой поверхностью. На рисунке 4 представлены основные геометрические параметры осевой цилиндрической фрезы.



γ – угол наклона винтовой канавки ($25 - 35^\circ$), t_m – торцевой шаг,
 t_0 – осевой шаг, z – число ножей (4 шт.)

Рисунок 4 – Геометрические параметры осевой цилиндрической фрезы

Каждый зуб фрезы в процессе резания совершает циклоидальное движение [10]. Траекторией относительного рабочего движения любой точки лезвия является циклоида, изображенная на рисунке 5.

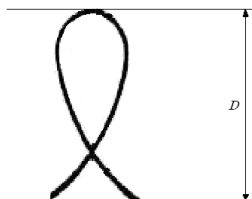


Рисунок 5 – Траектория движения точки лезвия осевой цилиндрической фрезы

Вращение фрезы является движением резания. Скорость резания определяется по формуле [10]

$$V_{рез} = \frac{\pi D_{\phi} n_{\phi}}{1000}, \text{ м/с}, \quad (6)$$

где n_{ϕ} – частота вращения фрезы, с^{-1} .

Скорость резания равна окружной скорости вращения фрезы.

Перемещение материала по касательной к окружности фрезы является движением подачи. Так как фреза является многозубым инструментом, то различают минутную подачу S_m (мм/мин, м/с), подачу на оборот и подачу на зуб S_z (рисунок 6).

При резании происходит сочетание направлений вращения фрезы и перемещение материала, так как в нашем случае векторы скорости резания и подачи направлены в одну сторону резание будет попутным.

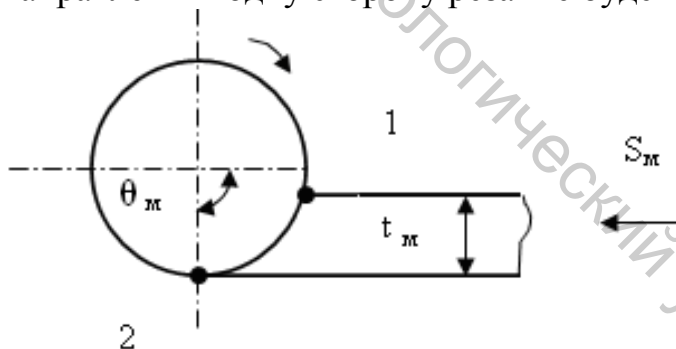


Рисунок 6 – Элементы резания

Из рисунка 6 видно, что зуб фрезы вступает в работу в точке 1 и выходит из соприкосновения со срезаемым материалом в точке 2. Таким образом, за один оборот фрезы зуб совершает два цикла: рабочий, соответствующий дуге 1,2, и холостой, соответствующий дуге 2,1. Периодически повторяющиеся чередования рабочего и холостого циклов зуба фрезы (циклическая прерывистость процесса резания) являются особенностью такого вида резания.

Угол θ_m , соответствующий началу и концу рабочего цикла зуба фрезы, – максимальный угол контакта. Мгновенная толщина срезаемого слоя не зависит от угла наклона винтовой канавки.

Мгновенную толщину срезаемого слоя a можно определить по формуле [10]

$$a = S_z \sin \theta_m, \text{ м.} \quad (7)$$

Подача – относительное перемещение волокна к ножевому барабану при его вращении, осуществляется в горизонтальной плоскости. При заданной длине нарезки l (м)

$$V_{\text{нод}} = \frac{l}{t}, \text{ м/с,} \quad (8)$$

где t – время продвижения материала на длину l , с.

Угловая скорость ножевого барабана

$$W_\phi = \frac{2\pi}{zt} \text{ или } W = \frac{2\pi V_{\text{нод}}}{zl}, \text{ с}^{-1}, \quad (9)$$

где z – количество зубьев фрезы (ножей), шт.

Следовательно, скорость подачи

$$V_{\text{нод}} = \frac{z l W_\phi}{2\pi}, \text{ или } V_{\text{нод}} = n_\phi z, \text{ м/с.} \quad (10)$$

Тогда длина нарезки равна

$$l = \frac{V_{\text{нод}}}{n_\phi z}, \text{ м.} \quad (11)$$

Значение подачи материала на один зуб фрезы связано с подачей материала в минуту S_m соотношением

$$S_z = \frac{S_m}{n_\phi z}. \quad (12)$$

Так как $n_\phi = \frac{30W_\phi}{\pi}$, получаем

$$S_z = \frac{S_m \pi}{30W_\phi z}. \quad (13)$$

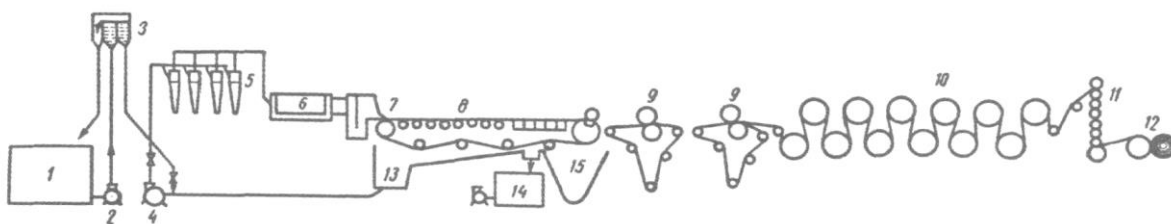
Тогда мгновенная толщина срезаемого слоя

$$a = \frac{S_m \pi}{30Wz} \sin \theta_m. \quad (14)$$

Максимальная длина нарезки зависит от высоты зуба фрезы [11].

Затем происходит этап создания клеевой композиции, который является основополагающим. В разрыхленные измельченные волокнистые отходы добавляется клеевой состав, затем полученная масса тщательно перемешивается до однородного состояния. Характеристика клеевых составов представлена в таблице 1.

Полученная масса перемещается в зону формирования полотна (рисунок 7) [3].



1 – машинный бассейн; 2 – массный насос; 3 – переливной бачок; 4 – смесительный насос; 5 – центриклинеры; 6 – узлоловитель; 7 – напорный ящик; 8 – сеточный стол; 9 – мокрые прессы; 10 – сушильная часть; 11 – каландр; 12 – накат; 13 – сборник оборотных вод; 14 – сборник избыточных вод; 15 – бассейн мокрого брака

Рисунок 7 – Технологическая схема бумагоделательного агрегата

Таблица 1 – Характеристика клеевых составов

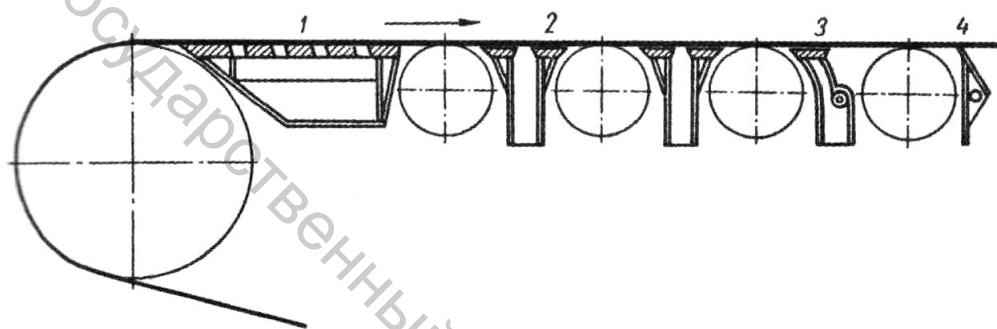
№	Наименование клеевой композиции	Физические свойства		
		Агрегатное состояние	Температура плавления	Растворимость
1	Полиуретан (ПУ)	Жидкое	140 ($T_{\text{стеклования}}$) 300 ($T_{\text{плавления}}$)	Не растворим в воде и моющих средствах
2	Поливинилацетат (ПВА)	Жидкое	28 ($T_{\text{стеклования}}$) 120 ($T_{\text{плавления}}$)	Набухает в воде, растворим моющими средствами
3	Этиленвинилацетат (ЭВА)	Твердое	80 – 90 ($T_{\text{плавления}}$)	Не растворим в воде и моющих средствах
4	Полиэтилентерефталат (ПЭТ)	Твердое	70 ($T_{\text{стеклования}}$) 260 ($T_{\text{плавления}}$)	Не растворим в воде и органических растворителях, устойчив к воздействию кислот и растворов слабых щелочей
5	Полиамид (ПА)	Твердое	120 – 160	Не растворяется в воде, устойчив в маслах, бензине, разбавленных и концентрированных растворах щелочей, разбавленных кислотах
6	Латекс бутадиен-стирольный	Жидкое	180 – 225	Растворим в алифатических и ароматических углеводородах, хлороформе, четырёххлористом углероде, сероуглероде
7	Декстриновый клей	Жидкое	17 – 50 ($T_{\text{раб.}}$)	Растворяется в воде

Формирование представляет собой процесс объединения волокон в листовую форму с созданием определенной объемной капиллярно-

пористой структуры. Этот процесс осуществляется на сеточной части бумагоделательной машины постепенным и последовательным удалением воды из бумажной массы (обезвоживанием). Режим обезвоживания, начинаемый в начале сеточного стола и заканчиваемый сушкой бумаги в сушильной части, на всех этапах технологического процесса оказывает существенное влияние на качество полотна и производительность машины.

Сеточный стол бумагоделательной машины состоит из регистровой части, отсасывающих ящиков и гауч-пресса.

Обычно регистровую часть сеточного стола составляют: формующая доска, регистровые валики, опорные планки, устанавливаемые между регистровыми валиками и дефлекторы. Схема регистровой части сеточного стола приведена на рисунке 8 [3].



1 – формующая доска; 2 – опорная планка двойная;
3 – опорная планка одинарная; 4 – дефлектор

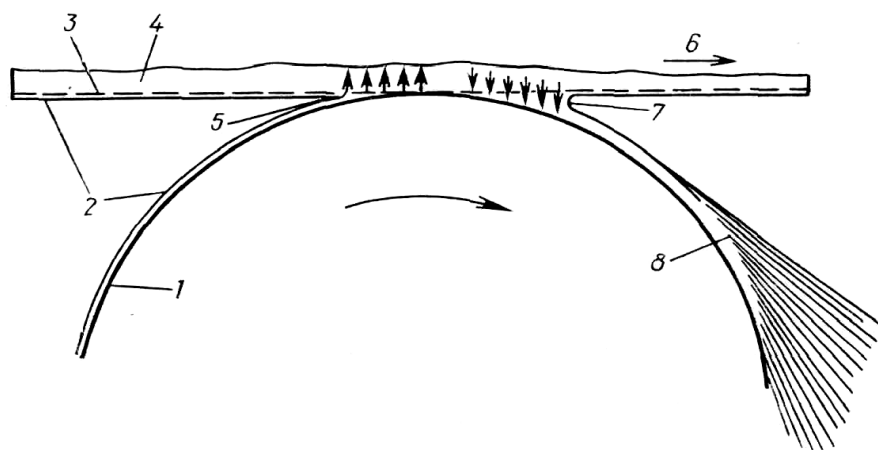
Рисунок 8 – Схема регистровой части сеточного стола

В этой части сеточного стола удаляется большая часть воды из волокнистой массы под влиянием свободного отека и отсасывающего действия регистровых валиков.

Регистровые валики должны быть расположены в одной плоскости, поэтому снабжаются приспособлениями для их установки по высоте.

Регистровые валики получают движение от сетки машины, поэтому с целью уменьшения их сопротивления они устанавливаются на шарикоподшипниковых опорах. На рисунке 9 приведена схема отсасывающего действия регистрового валика [3].

При входе сетки на регистровый валик создается зона повышенного давления 5, благодаря которому вода, которая находится в виде пленки под сеткой, выдавливается через нее вверх. При сходе сетки с регистрового валика образуется зона вакуума, где возникает отсасывающее действие 7 вследствие сил сцепления воды с поверхностью валика, а также действию центробежной силы.



1 – регистра валик; 2 – пленка воды; 3 – сетка; 4 – слой волокнистой суспензии; 5 – противодавление; 6 – направление движения сетки; 7 – отсасывающее действие; 8 – удаляемая вода

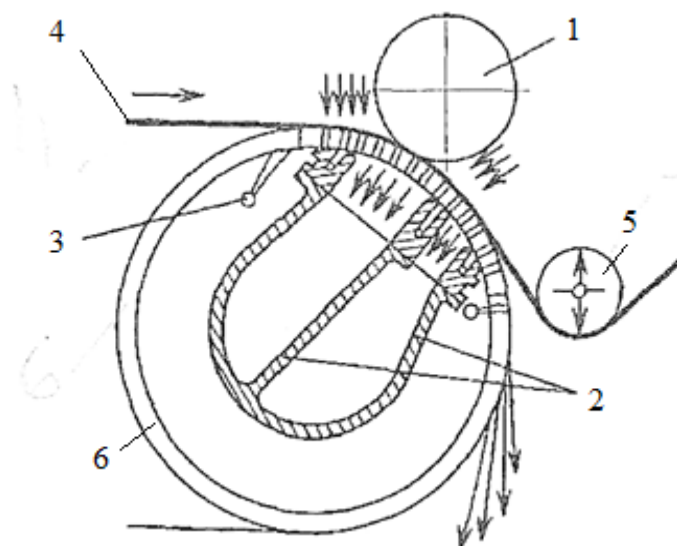
Рисунок 9 – Схема отсасывающего действия регистра валика

От вращающегося регистра валика под действием центробежной силы вода отбрасывается тангенциально и может быть заброшена к соседнему валику. Для предотвращения этого на быстроходных бумагоделательных машинах между валиками устанавливают дефлекторы, которые отводят эту воду. Между регистра валиками устанавливают также отражательные планки различных конструкций, снимающие с нижней поверхности сетки водяную пленку. Они, как и регистра валики, интенсифицируют процесс обезвоживания полотна в результате перепада давления.

Перед отсасывающими ящиками сухость полотна составляет 2,5 – 3,5 %. Под воздействием вакуума отсасывающие ящики позволяют достичь сухости полотна до 10 – 14 %. Величина вакуума постепенно повышается от первого к последующим ящикам и составляет от 2 до 30 кПа.

После отсасывающих ящиков дальнейшее обезвоживание полотна до сухости 17 – 25 % осуществляется на отсасывающем гауч-вале под действием вакуума 40 – 80 кПа. На рисунке 10 представлена схема двухкамерного гауч-вала.

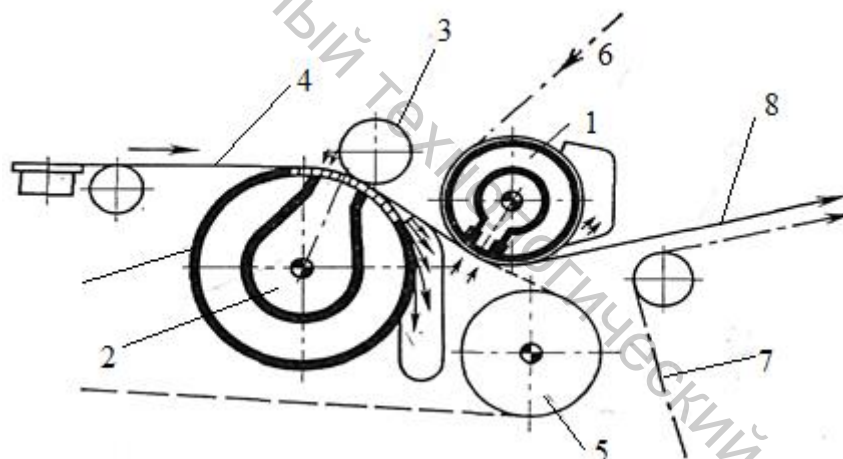
Гауч-вал состоит из перфорированной рубашки 6, внутри которой неподвижно смонтированы вакуумные камеры 2, снабженные резиновыми уплотнителями. Сверху гауч-вала устанавливается прижимной валик 1. Сетка машины с полотном огибает гауч-вал, полотно, пройдя натяжной валик 5, направляется в прессовую часть машины, сетка машины с гауч-вала через направляющие, натяжные и ровнительные валы возвращается к грудному валу.



1 — прижимной валик; 2 — вакуумные камеры; 3 — спрыск; 4 — сетка;
5 — натяжной валик; 6 — перфорированная рубашка

Рисунок 10 — Схема двухкамерного гауч-вала

Съем полотна с поверхности гауч-вала вакуумприсасывающим устройством, как наиболее эффективного, представлен на рисунке 11 [3].



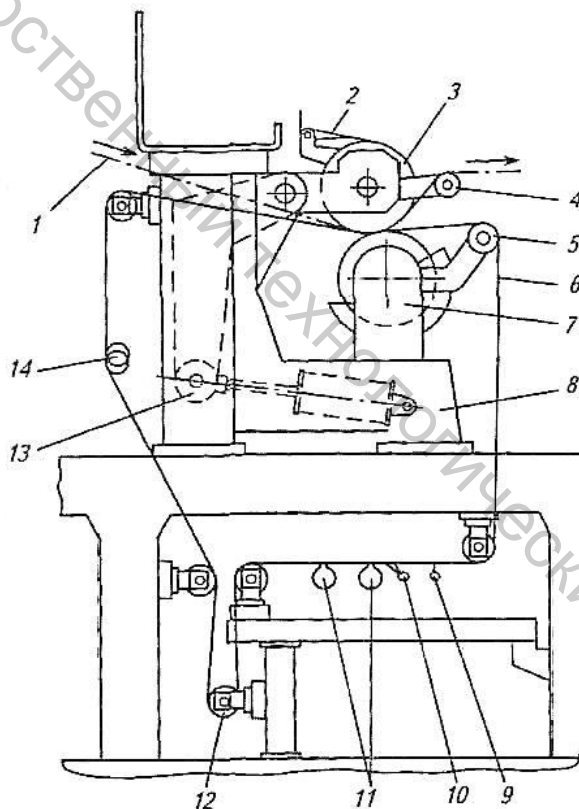
1 — гауч-вал; 2 — вакуумная камера; 3 — прижимный валик;
4 — сетка с бумажным полотном; 5 — сетконаправительный валик; 6 — съемный вал;
7 — сукно прессы; 8 — съемное сукно

Рисунок 11 — Схема съема полотна с вакуумприсасывающим устройством

Для выравнивания поверхности полотна и улучшения его структуры после первых 2 — 4 отсасывающих ящиков иногда устанавливают ровнитель — легкий полый валик, обтянутый сеткой. Ровнитель с рельефной поверхностью применяется для изготовления бумаги с водяным знаком. При этом сухость полотна перед ровнителем должен составить примерно 6 — 7 %. Ровнитель, уплотняя полотно,

способствует лучшему обезвоживанию его на последующих отсасывающих ящиках и уменьшает расход энергии на создание вакуума.

После сеточной части бумажное полотно поступает в прессовую, состоящую из нескольких прессов, на которых оно последовательно обезвоживается до сухости 30 – 42 % (рисунок 12). Для интенсификации обезвоживания полотна в прессовой части применяют прессы с желобчатыми валами и повышенным линейным давлением между ними. Важное значение для обезвоживания полотна имеют надлежащий подбор сукон и их кондиционирование. Полотно, сформованное в сеточной части, автоматически вакуум-пересасывающим устройством передается на сукно прессовой части. Современные конструкции комбинированных многовальных прессов обеспечивают прохождение бумаги без свободных участков (участков, где полотно не поддерживается сукном), что позволяет осуществить безобрывную проводку полотна в прессовой части [3].



1 – полотно; 2 – шабер; 3 – верхний вал (гранитный); 4 – ведущий вал; 5 – сукноведущий валик; 6 – прессовое сукно; 7 – нижний вал (обрезиненный); 8 – остов пресса; 9 – спрыск высокого давления; 10 – спрыск низкого давления; 11 – сукномойки; 12 – сукнонатяжной валик; 13 – механизм прижима валов; 14 – сукноправильный валик

Рисунок 12 – Схема двухвального пресса

Для перемещения и подачи полотна в зону отжима служит прессовое сукно 6. Оно бесконечно и движется по сукноведущим валикам 5. Наружная сторона сукна, соприкасающаяся с полотном, очищается с помощью sprays 9, 10 и сукномойкой 11. Нижний вал 7 имеет резиновое покрытие, если в машине несколько прессов, то твердость резинового покрытия повышается с первого пресса к последнему.

Важно обеспечить равномерность распределения температуры покрытия по длине вала. Для этого необходимо контролировать разницу температур подаваемой внутрь вала и отводимой из него воды. Эта разница, как установили исследователи, не должна превышать $6 - 8^{\circ}\text{C}$ [3].

В процессе сушки полотно обезвоживается до конечной сухости 92 – 95 %. Удаляется 1,5 – 2,5 кг воды на 1 кг полотна, что примерно в 50 – 100 раз меньше, чем на сеточной и прессовой частях машины. При сушке одновременно происходит дальнейшее уплотнение и сближение волокон. В результате повышается механическая прочность готового полотна. От режима сушки зависят объемная масса, впитывающая способность, воздухопроницаемость, усадка, влагонепрочность.

Полотно, проходя по сушильным цилиндрам, поочередно соприкасается с нижними и верхними цилиндрами то одной, то другой своей поверхностью. Для лучшего контакта между цилиндрами и полотном и облегчения заправки применяют сушильные сукна (сетки), охватывающие сушильные цилиндры примерно на 180° .

Сушка бумаги на сушильном цилиндре состоит из двух фаз: на нагретой поверхности цилиндра под сукном и на участке свободного хода, то есть когда полотно переходит с одного цилиндра на другой. В первой фазе, под сукном, испаряется основное количество влаги: на тихоходных машинах до 80 – 85 %, на быстроходных до 60 – 75 % всей влаги, испаряемой в сушильной части машины. Во второй фазе, на участках свободного хода, влага испаряется с обеих сторон материала за счет тепла, поглощенного волокном в первой фазе сушки. При этом полотно в зависимости от скорости машины претерпевает понижение температуры на $4 - 15^{\circ}$. При падении температуры снижается скорость сушки, особенно на тихоходных машинах, так как на них падение температуры полотна бумаги больше, чем на быстроходных. С повышением скорости машины количество испаряемой воды на участке свободного хода полотна увеличивается. С уменьшением количества воды в полотне интенсивность сушки на свободном участке понижается.

Температуру сушильных цилиндров повышают постепенно, что способствует улучшению качества готового полотна и завершению

процесса формирования. В конце сушильной части температуру поверхности цилиндров снижают, так как высокая температура при небольшой влажности действует на волокна разрушающе.

Выводы

Предложенная технология позволяет производить нетканые рулонные материалы на существующем оборудовании с использованием текстильных отходов, а следовательно, решить экологическую проблему их накопления.

ГЛАВА 9. ЭЛЕКТРОЕМКОСТНОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Композитные материалы на основе полимеров широко используются в авиационной, ракетно-космической, судостроительной, нефте- и горноперерабатывающих промышленности, в отраслях строительного, транспортного химического машиностроения. Биоразлагаемые полимерные материалы применяют в медицине (хирургические и одноразовые материалы), фармакологии (продлонгация действия лекарственных препаратов), пищевой промышленности (упаковочный и антиоксидантный материал), сельском хозяйстве. Основу сырья легкой промышленности составляют природные биополимеры, обладающие, как и композиты, слабой анизотропией физико-механических свойств.

Повышение качества выпускаемой продукции, снижение ее себестоимости связано с решением целого ряда задач входного контроля качества сырья, коррекции режимов технологического процесса, обнаружения и определения скрытых дефектов (пороков в виде неоднородностей в контролируемом объекте), их выбраковки. Остро стоит и задача диагностики деформационных, прочностных свойств природных биоматериалов (кожа, лен, хлопок, шерсть, бумага, древесина, нетканые материалы) и их идентификации. Наиболее важными показателями качества биополимерных материалов являются влажность, плотность, упругие и деформационные свойства, такие как предельная прочность образца P_p , напряжение при разрыве σ_p , относительное удлинение при разрыве ε_p , структурные характеристики, к которым относится анизотропия диэлектрических свойств.

Сравнивая эффективность и технические возможности различных методов и средств неразрушающего контроля, можно констатировать, что среди большого многообразия методов: электромагнитного, микрорадиоволнового, ультразвукового, теплового, оптического наиболее эффективным и экономичным является электроемкостный метод контроля. Он характеризуется высокой чувствительностью, точностью, малым уровнем мощности, быстродействием, низкой себестоимостью.

Развитие электроемкостного метода и средств контроля связано с расчетом электрических полей электроемкостных датчиков, их проектированием, решением обратных задач. Обоснованный выбор конструкции и характеристик преобразователя во многом определяет метрологические характеристики измерительного устройства, решает

вопрос реализации технического задания. Число факторов и параметров материала, влияющих на характеристики электроемкостных преобразователей, более десятка. По этой причине процесс проектирования датчика [1] характеризуется значительным объемом и трудоемкостью, что, с учетом сложности структуры объектов контроля, делает физическое моделирование трудноосуществимым, и основная нагрузка ложится на математическое моделирование, осуществляемое аналитическими либо численными методами. Аналитические модели для емкостных датчиков обычно базируются на упрощенных конфигурациях и идеализированных предположениях: линейные размеры преобразователей во много раз меньше длины волны электромагнитного поля, создаваемого питающим напряжением, то есть поля в преобразователях с высокой степенью точности рассматриваются как электростатические; длина электродов намного больше их поперечных размеров; толщина электродов бесконечно мала; диэлектрик изотропен и однороден; число слоёв не больше двух, причем граница их раздела совпадает или с плоскостью электродов, или с поверхностью силовых линий, или эквипотенциалей. Это резко ограничивает их точность расчета для реальных конструкций [2, 3]. В моделях, построенных с использованием методов конформных преобразований [4, 5 – 8], непосредственного расчета напряженности электрического поля [3, 9], континуума [10 – 14] или решения уравнения Лапласа с учетом граничных условий [15], электроды имеют нулевую толщину. Это допущение действительно, когда толщина электрода мала по сравнению с геометрическими размерами секции датчика [16]. Для миниатюрных датчиков с конечной длиной, толщиной электродов, указанные модели приводят к существенным расхождениям между теоретическими и экспериментальными данными. Поэтому основная нагрузка расчета электрических параметров ложится на численные методы расчета [17].

Численные методы расчета электроемкостных датчиков развиваются с середины 80-х годов прошлого века [4, 12, 18]. С тех пор это направление превратилось в самостоятельную отрасль науки – вычислительную электродинамику. В настоящее время разработан и используется целый ряд коммерческих программ анализа и оптимизации электродинамических систем (Ansoft FEM, ELCUT, CST Microwave Studio, SPEAG SEMCAD и др.), позволяющий рассчитывать электромагнитные поля и параметры сложных электродинамических систем.

Среди численных методов, применяемых для расчета электроемкостных датчиков, следует выделить метод конечного элемента, известный как finite element method (FEM) [19]. Наиболее

часто применяется пакет Ansoft Maxwell 2D, позволяющий рассчитывать электромагнитные поля и параметры сложных электродинамических систем [1]. Обладая мощным вычислительным ресурсом, этот метод позволяет проводить расчеты электроемкостных преобразователей любой сложности, однако он требователен к вычислительным ресурсам и требует значительного времени расчета [20]. Менее требовательны к вычислительным ресурсам и значительно экономят время расчета методы, основанные на использовании интегральных уравнений Фредгольма первого рода [21, 22], численные и приближенные способы, решения которых достаточно хорошо разработаны [23]. Несмотря на ряд математических моделей, используемых при практическом исполнении электроемкостных датчиков, возникают несоответствия между теоретическими и измеренными значениями импеданса, которые затрудняют интерпретацию полученных результатов, что приводит к снижению эффективности электроемкостного способа контроля. Самыми важными факторами, приводящими к несоответствиям, являются толщина и длина электродов, вклад краевых эффектов на торцах электродов в емкость [24]. Существующие методики определения основных характеристик электроемкостных преобразователей (рабочая емкость, глубина зоны контроля, емкость вносимой торцами электродов преобразователя) [25] обладают трудоемкостью и продолжительностью определения характеристик. Крайне важны вопросы определения области контроля экранированных накладных измерительных конденсаторов, вопросы оптимизации их конструкций [26]. Именно они во многом определяют эффективность неразрушающего контроля компонент тензора диэлектрической проницаемости композитов и биополимеров, обладающих анизотропией. Являясь характеристиками материала, компоненты тензора диэлектрической проницаемости несут сведения о плотности, составе, структуре, влажности, то есть входят в комплекс исходной информации для диагностики качества слабо анизотропных материалов.

Методика контроля анизотропии диэлектрических свойств полимеров основана на формировании в объектах контроля плоскопараллельных полей с помощью двух типов преобразователей – плоского конденсатора Maxwell, он связан с разрушением объекта контроля и накладного измерительного конденсатора (НИК), не требующего разрушения. Однако применение НИК не всегда эффективно в силу того, что поля на торцах ленточных электродов накладных конденсаторов отличаются от плоскопараллельных и, в свою очередь, приводят к методическим погрешностям измерения анизотропии диэлектрических свойств. Ошибка может достигать 10 % и

более. Причем, в отличие от контроля изотропных сред краевой эффект на торцах электродов невозможно учесть [27]. Кроме того, размеры электродов преобразователей должны быть выбраны таким образом, чтобы проникновение электрического поля преобразователя было меньше минимальной толщины материала и, следовательно, изменение толщины не сказывалось на результатах измерений. Большая часть тонких полимерных материалов (искусственные и синтетические кожи, пленки, покрытия, ткани, картон, стеклопластики и т. д.) имеют неквазигомогенную структуру. Неоднородности структуры могут быть сравнимы с толщиной материалов. В силу этого выполнение узких ленточных электродов приводит к соразмерности неоднородностей и размеров преобразователя, а, следовательно, и к методическим погрешностям измерения, что обуславливает низкую результативность диагностики прочностных, деформационных свойств полимеров, влагометрии материалов, обладающих анизотропией структуры. Так, влагомеры ведущих фирм (Farmcomp, Semitronik, Delmhorst Instrument Company, Pfeuffer) не рассчитаны на изменение ориентации вектора напряженности электрического поля по отношению к осям анизотропии материала и не обеспечивают однозначность контроля влажности сминаемых материалов, таких как ткани, волокна, пряжа, нетканые материалы. Проведение лабораторных испытаний для оценки качества полуфабрикатов текстильной промышленности на установках фирмы Uster требует: экранирование лаборатории от внешних электромагнитных полей, поддержание температурного и влажностного режимов, что приводит к неудобствам в эксплуатации и не позволяет оперативно вмешиваться в технологический процесс переработки сырья.

Поэтому были разработаны:

- методология определения физико-механических свойств материалов, обладающих слабой анизотропией;
- построены, теоретически обоснованы и реализованы методики и алгоритмы моделирования электромагнитного поля низкой частоты в кусочно-однородных анизотропных слоистых средах;
- созданы принципы проектирования экранированных накладных измерительных электроемкостных преобразователей, расширены их функциональные возможности [28].

На основе теоретически и экспериментально обоснованных результатов численного и аналитического моделирования были созданы конструкции многосекционных экранированных накладных измерительных конденсаторов [29] и зеркально-симметричных накладных измерительных конденсаторов, создающие в рабочей области плоскопараллельные поля и позволяющие измерять значения диэлектрической проницаемости анизотропных образцов с точностью,

превышающей в 1,5 – 2 раза точность измерений, реализуемых на базе традиционных конструкций накладных конденсаторов [30]. Были определены области и условия аномального поведения емкости экранированных накладных конденсаторов от величины диэлектрической проницаемости измеряемого материала ε , обуславливающие двойственность результата измерений, и падение емкости с увеличением диэлектрической проницаемости $\partial C / \partial \varepsilon \leq 0$. Установлено, что максимум чувствительности экранированных измерительных конденсаторов к анизотропии диэлектрической проницаемости $\partial(\Delta C / C) / \partial(h/\lambda r)$ определяется относительным межэлектродным зазором. Глубина зоны контроля определяется размером межэлектродного пространства h и не превосходит 0,4 толщины образца.

Основными электрофизическими характеристиками любого анизотропного материала являются компоненты тензора диэлектрической проницаемости ε_x , ε_y , ε_z , компоненты тензора проводимости σ_x , σ_y , σ_z . Эти характеристики связаны с основными процессами, происходящими в диэлектриках под воздействием электрического поля, – поляризацией молекул, молекулярных групп, а также с диэлектрическими потерями [4]. При этом, в силу различной физической природы компонент ε_x , ε_y , ε_z и σ_x , σ_y , соотношение между влиянием отдельных свойств материала на каждую из этих характеристик различно [31]. Удельная проводимость имеет, в основном, ионную природу, то есть она обусловлена процессом переноса зарядов свободными ионами растворов, находящихся в порах материала [32]. При увлажнении материала проводимость зависит, в первую очередь, от концентрации и химического состава электролитов и, в несколько меньшей степени, от влажности как таковой. Этим объясняется тот факт, что многочисленные попытки использования изменения удельного сопротивления для измерения влажности окончились неудачей [31]. Диэлектрическая проницаемость обусловлена процессами поляризации вещества, происходящими при помещении последнего в электрическое поле. В связи с тем, что дипольный момент полярных молекул воды (дипольный момент молекулы воды $p = 6.2 \cdot 10^{-30}$ Кл·м), находящейся в свободном состоянии, на несколько порядков выше дипольного момента неполярных молекул, составляющих, в основном, скелет контролируемых материалов (материалы текстильной промышленности, строительные материалы), эффективная диэлектрическая проницаемость влажного материала является функцией влажности. Это свойство молекул воды еще более

усиливается при контроле анизотропных материалов [33]. Диполи воды выстраиваются в электрическом поле материала в направлении структуры. Если внешнее электрическое поле совпадает с направлением структуры, диполи молекул воды усиливают поляризацию вещества. Со сменой направления внешнего поля диполи молекул воды стремятся следовать за ним. Большая инертность диполей приводит к различному времени релаксации на разных частотах и, как следствие, к усилению анизотропии диэлектрической проницаемости на низких частотах ($1 \div 10$ кГц) и ослаблению этого эффекта на высоких частотах ($100 \div 500$ кГц).

Информационным параметром, характеризующим влажность анизотропных материалов, является относительный коэффициент анизотропии диэлектрической проницаемости $k_1(v) = (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp})_v / (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp})_{100}$, уменьшающийся с частотой и, практически, не зависящий от влажности и температуры окружающей среды [30]. Для контроля структурной влаги в материалах с одноосной анизотропией используется методика, основанная на зависимости дисперсии анизотропии диэлектрических свойств материала от его влажности [30].

Под эффективной диэлектрической проницаемостью волокна понимают результирующую проницаемость самого волокна, воздуха, занимающего часть пространства, и воды [34]. Для определения эффективной диэлектрической проницаемости $\epsilon_{\parallel}$, $\epsilon_{\perp}$ волокна необходимо решение обратной задачи. Зная геометрические размеры датчика и измеренную емкость, эффективная диэлектрическая проницаемость определяется как $\epsilon_{\perp} = f(C_{\perp}, r, r_0, r_1, h, \mu, b, \epsilon_1)$. Так, для датчика ЭНИК, выполненного на подложке из тефлона ($\epsilon_1 = 2.1$) с известными геометрическими уравнение регрессии $\epsilon_{\perp} = -0,1668 C_{\perp}^4 + 0,6838 C_{\perp}^3 - 1,1652 C_{\perp}^2 + 4,6775 C_{\perp} - 0,3481$, достоверность аппроксимации $R^2 = 1$.

Значение эффективной диэлектрической проницаемости $\epsilon_{\parallel}$ определяется после вычисления $\epsilon_{\perp}$ с учетом измеренной емкости $C_{\parallel}$:

$$\begin{aligned} \epsilon_{\parallel} = f(C_{\parallel}, C_{\perp}, r, r_0, r_1, h, d, b, \epsilon_1) = & (0,048372 C_{\perp}^4 - 0,198302 C_{\perp}^3 + \\ & + 0,33791 C_{\perp}^2 - 1,35647 C_{\perp} + 0,535049) C_{\parallel}^4 - (0,2533692 C_{\perp}^4 - 1,038692 C_{\perp}^3 + \\ & + 1,7699388 C_{\perp}^2 - 7,105122 C_{\perp} + 2,9781639) C_{\parallel}^3 + (0,7654452 C_{\perp}^4 - \\ & - 3,1379582 C_{\perp}^3 + 5,3471028 C_{\perp}^2 - 21,4650475 C_{\perp} + 11,0427309) C_{\parallel}^2 + \\ & + (-0,1089204 C_{\perp}^4 + 0,4465214 C_{\perp}^3 - 0,7608756 C_{\perp}^2 + 3,0544075 C_{\perp} + \\ & + 1,3047907) C_{\parallel} - 0,0128436 C_{\perp}^4 + 0,0526526 C_{\perp}^3 - 0,0897204 C_{\perp}^2 + \\ & + 0,3601675 C_{\perp} - 0,2183037. \end{aligned}$$

С увеличением влажности контролируемого волокна происходит существенное увеличение анизотропии диэлектрической проницаемости (рисунок 1).

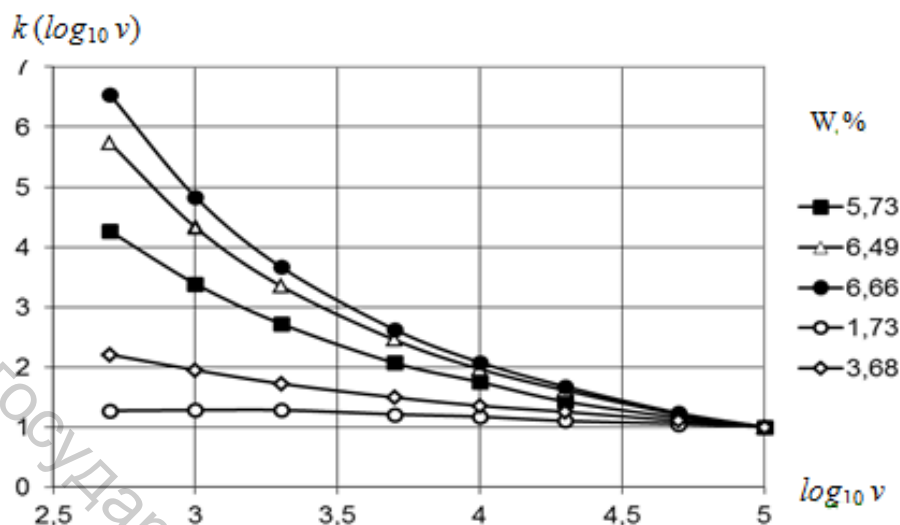


Рисунок 1 – Изменения коэффициента анизотропии диэлектрической проницаемости $k = (\epsilon_{\square} - \epsilon_{\perp})_{0,5} / (\epsilon_{\square} - \epsilon_{\perp})_{100}$ в зависимости от частоты электромагнитного поля $\log_{10} v$ при различной влажности W волокна

Причем рост анизотропии контролируемого льноволокна на частоте 0,5 кГц ($\log_{10} v = 2,7$) больше роста анизотропии диэлектрической проницаемости на частоте 100 кГц ($\log_{10} v = 5,0$). Это отношение для льноволокна влажностью $W = 3,68\%$ равно $(\epsilon_{\square} - \epsilon_{\perp})_{0,5} / (\epsilon_{\square} - \epsilon_{\perp})_{100} = 2,2$, для сухого $(\epsilon_{\square} - \epsilon_{\perp})_{0,5} / (\epsilon_{\square} - \epsilon_{\perp})_{100} = 1,26$. Для сухого волокна практически не наблюдается дисперсия диэлектрической проницаемости в направлении, перпендикулярном волокну. Эффективные значения диэлектрической проницаемости $\epsilon_{\perp}$ и $\epsilon_{\square}$ сохраняют практически постоянные значения в частотном интервале 0,5÷100 кГц и равны 1,20 [33]. При контроле влажности ортотропных материалов (волокон, лент, бумаги, шпона и т. д.) в качестве одного из информационных параметров используется разность компонент тензора диэлектрической проницаемости, измеренная вдоль осей анизотропии на низкой частоте, а второго – разность компонент тензора диэлектрической проницаемости, измеренная вдоль осей анизотропии на высокой частоте [33, 35]. Эта методика предусматривает применение дифференциальных датчиков, создающих плоскопараллельные поля вдоль различных осей анизотропии (рисунок 2).

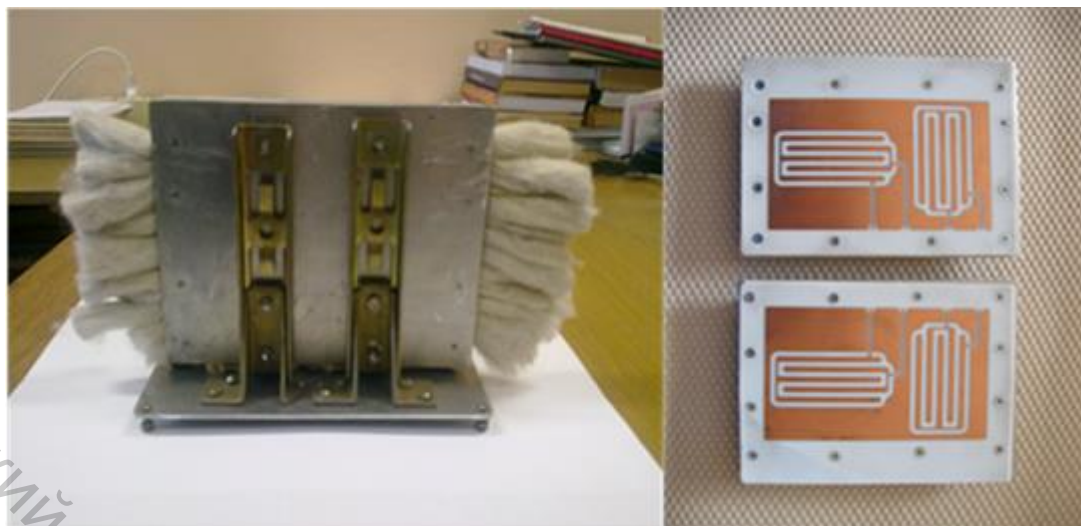
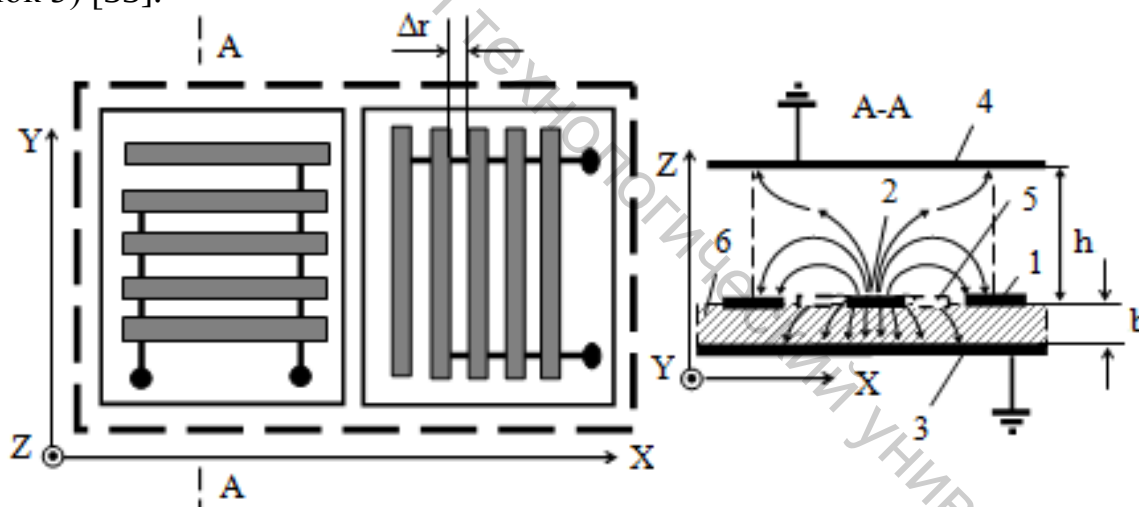


Рисунок 2 – Дифференциальный зеркально-симметричный накладной измерительный конденсатор (ЗСНИК)

Применение дифференциальных преобразователей позволяет устранять влияние окружающей среды на результат измерения емкости, влияние колебаний влажности воздуха, колебаний температуры. Для одновременного создания плоскопараллельных полей вдоль различных осей анизотропии может использоваться конструкция из двух идентичных накладных измерительных конденсаторов (ЭНИК) (рисунок 3) [33].



1, 2 – потенциальные электроды; 3, 4 – заземленные экраны;
5 – виртуальный электрод; 6 – подложка

Рисунок 3 – Дифференциальный датчик: вид сверху и вид сбоку для одной из секций

Каждый из ЭНИК состоит из системы ленточных электродов 1 и 2, расположенных на поверхностях плоских подложек. Ленточные электроды создают плоскопараллельные поля в двух взаимно перпендикулярных направлениях, в плоскостях XOZ и YOZ. Образец

исследуемого анизотропного материала (оси анизотропии которого взаимно перпендикулярны) размещается на поверхности электродов.

Такая конструкция экранированного накладного измерительного конденсатора (ЭНИК) позволяет устранить кумулятивный эффект со стороны ближайших предметов, электрически связанных с землей, дестабилизирующие внешние электромагнитные воздействия [3]. При выборе геометрических размеров конструкции ЭНИК учитывается следующее. Во-первых, датчик должен создавать плоскопараллельное поле, во-вторых, доля горизонтального потока, идущего вдоль оси анизотропии, должна быть значительна. Волокна хлопка, льна обладают одноосной анизотропией. Значения констант тензора диэлектрической проницаемости при относительной влажности 0 % лежат в пределах $1,2 \div 2$ [34]. Диаметр волокон порядка 10 мкм, они заполняют воздушные карманы датчика подобно «жидкому диэлектрику». Выбор геометрических размеров ЭНИК (толщины подложки b , расстояния h до экрана) осуществляется исходя из максимально возможной чувствительности датчика ЭНИК к анизотропии волокна. Для датчика с металлизацией 0,469, когда размер секции $r = 6,82$ мм, толщина электродов $d = 0,035$ мм, с $\epsilon_x = 1,9$ и $\epsilon_z = \epsilon_y = 1,2$, наиболее оптимальным расстоянием h от экрана до плоскости электродов является расстояние в интервале от $r_1 - r_0$ до $2(r_1 - r_0)$.

Диэлькометрии подвергались ленты льна, хлопка и смеси волокон (50 % льна и 50 % хлопка). Предварительно волокна высушивали в сушильном шкафу при температуре 50 °С в течение 2 часов. Затем отбирались образцы каждого волокна. Так как они размещались в рабочем объеме датчика, то все они имели длину 0,2 м и массу $20,0 \pm 0,01$ г. Это позволило сохранять на протяжении всех исследований постоянную плотность укладки волокон в поле датчика. Так как диэлектрические свойства волокон определяются их влажностью, то образцы помещали на сутки в эксикатор, в котором создавалась относительная влажность воздуха 40 %, 60 % и 80 % при комнатной температуре. После выдержки образцов в эксикаторе для каждого из них взвешиванием на торсионных весах определялась масса с точностью до $\pm 0,01$ г. Затем снимались диэлькометрические спектрограммы для емкости и тангенса диэлектрических потерь в двух направлениях вдоль и поперек волокон. Время измерения не превышало 180 с. За время измерения в образцах волокон не успевает наступить термодинамическое равновесие с окружающей средой. По этой причине образцы опять подвергались взвешиванию на тех же весах, и определялась средняя масса для каждого из образцов за время измерений. Затем определялась средняя влажность образца. В среднем, за время измерения влажность образцов льна изменялась на 0,3 %, 166

хлопка – на 0,2 %. Учитывая, что колебания влажности окружающего воздуха и температуры не сказываются на отношении разности емкостей дифференциального датчика, то измерялись разности $(C_{\parallel} - C_{\perp})_v$ и $(tg\delta_{\parallel} - tg\delta_{\perp})_v$, где $C_{\parallel}$, $C_{\perp}$ соответственно емкости датчика при ориентации поля вдоль волокон и в перпендикулярном направлении; $tg\delta_{\parallel}$, $tg\delta_{\perp}$ – соответственно тангенс угла потерь при ориентации поля вдоль волокон и в перпендикулярном направлении; ν – частота электромагнитного поля. Значения емкостей обоих НИК и тангенсов угла потерь в частотном диапазоне от 0,5 КГц до 100 КГц для незаполненного датчика оставались неизменными и равными: емкость первого НИК $C_{\parallel} = 0,308$ пФ, второго $C_{\perp} = 0,306$ пФ, $tg\delta_{\parallel} = 0,0008$ и $tg\delta_{\perp} = 0,0010$. В процессе измерений определялись относительный коэффициент анизотропии диэлектрической проницаемости $k_1(\nu) = (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp})_v / (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp})_{100} \approx (C_{\parallel} - C_{\perp})_v / (C_{\parallel} - C_{\perp})_{100}$ и проводимости $k_2(\nu) = (tg\delta_{\parallel} - tg\delta_{\perp})_v / (tg\delta_{\parallel} - tg\delta_{\perp})_{100}$ для всего частотного диапазоне от 0,5 КГц до 100 КГц. Экспериментальные данные для льноволокна представлены на рисунке 4. Из кривых видно, что по мере роста влажности льноволокна наблюдается рост относительного коэффициента анизотропии диэлектрической проницаемости во всем частотном диапазоне от 0,5 кГц до 100 кГц. Наибольшие изменения происходят в области 0,5 кГц. Это связано с дипольной поляризацией молекул воды. Диполи адсорбированных молекул воды ориентированы преимущественно вдоль молекулярных связей волокон. По этой причине наблюдается значительный рост диэлектрической проницаемости вдоль волокон.

Рост относительного коэффициента анизотропии тангенса потерь с ростом влажности льноволокна имеет свою специфику – рисунок 4. Для льноволокна, имеющего влажность $W \geq 6$ %, происходят изменения скоростей роста тангенсов потерь вдоль волокон и в перпендикулярном направлении. Скорость роста тангенса потерь в перпендикулярном направлении возрастает, и относительный коэффициент анизотропии тангенса потерь уменьшается. Это связано с увеличением доли водных включений в межволоконном пространстве, что приводит к росту ионной проводимости во всех направлениях, в том числе и в перпендикулярном направлении для волокон льна. Аналогичный характер в поведении относительных коэффициентов анизотропии наблюдался для лент из чистого хлопка и смеси хлопок – лен.

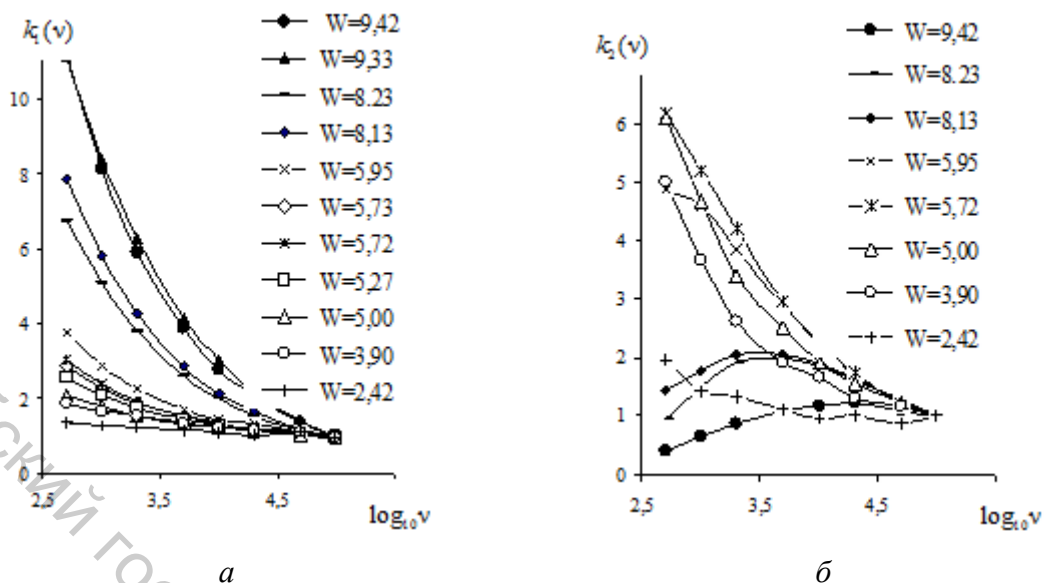


Рисунок 4 – Изменения относительных коэффициентов анизотропии диэлектрической проницаемости и тангенса потерь при различной влажности W льноволокна в зависимости от логарифма частоты электромагнитного поля v

Установлено, что зависимости натурального логарифма относительного коэффициента анизотропии диэлектрической проницаемости от влажности различных лент носят линейный характер.

Аппроксимирующие функции имеют вид:

- для смеси лен – хлопок $\ln(k_1(0,5)) = 0,3537 W - 0,3514$;
- для льна $\ln(k_1(0,5)) = 0,3126W - 0,6182$;
- для хлопка $\ln(k_1(0,5)) = 0,395W - 0,6074$.

Соответственно достоверность аппроксимации для смеси волокон – 0,98, для льна – 0,97 и хлопка – 0,96. Ошибка контроля влажности для льноволокна и хлопка составила не более $\pm 0,6 \%$, смеси – $\pm 0,9 \%$.

Градуировка макета влагомера для пряжи из льна осуществлялась эмпирически. В качестве образцового метода применялся прямой метод определения влажности. Согласно этому методу длительность сушки материала составляла 2 часа при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Масса навески составляла $20 \pm 1 \text{ г}$. Учитывая, что контрольные измерения влажности имеют свои собственные погрешности, то определенная сравнением с прямым методом величина погрешности характеризует не разность между показаниями влагомера и истинной влажностью, а лишь расхождения результатов измерения влагомером и прямым методом определения влажности. Градуировка влагомеров заключалась в аппроксимации при нормальных условиях (температура $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $60 \pm 5 \%$) функциональной зависимости $W(k_{1v})$. Для построения градуировочной

кривой проводилось более 100 измерений. Каждое измерение выполнялось градуируемым прибором по несколько раз. В качестве окончательного результата бралось среднее арифметическое значение ряда отдельных показаний. Из массива измерений был определен ряд отношений $k_1(v) = (\epsilon_{\square} - \epsilon_{\perp})_v / (\epsilon_{\square} - \epsilon_{\perp})_{100}$ и соответствующие им значения влажности W .

Построение градуировочной характеристики, то есть зависимости влажности от относительного коэффициента анизотропии, осуществлялось с помощью метода наименьших квадратов. Для повышения точности градуировки из полученных результатов исключались промахи. Для оценки погрешности влагомеров использовались средне-квадратичные отклонения остатков, характеризующих рассеяние экспериментальных точек относительно аналитической зависимости $W(k_{1v})$:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - W_i(k_i))^2}{n-3}}, \quad (1)$$

где W_i – значения влажности измеренные прямым методом; $W_i(k_i)$ – значения влажности, полученные из аналитической зависимости $W(k_{1v})$; n – число измерений. В наиболее используемом диапазоне влажности 6 % – 10 % градуировочная кривая для льнопряжи строилась по 53 точкам, которые группировались вокруг кривой линии (рисунок 5). Кривая аппроксимации имеет логарифмическую зависимость. Ошибка контроля влажности для льняной пряжи в диапазоне 6 % – 10 % составила не более $\pm 0,6$ %.

Различие сорбционных свойств хлопка и льна (различие угловых коэффициентов аппроксимирующей функции) позволяет проводить оценку массовой доли хлопка в смеси льна и хлопка. Доля хлопка определяется выражением:

$$M_x / (m_x + m_l) = (k_l - k_{cm}) / (k_l - k_x), \quad (2)$$

где k_l , k_x , k_{cm} – угловые коэффициенты аппроксимирующей функции зависимости натурального логарифма относительного коэффициента анизотропии диэлектрической проницаемости от влажности волокон льна, хлопка и смеси хлопок – лен. Угловой коэффициент аппроксимирующей функции для смеси хлопок – лен равен среднему арифметическому угловых коэффициентов для составляющих ленты льна и хлопка и подтверждает, что процентное соотношение хлопка и льна в ленте – 50 % льна и 50 % хлопка.

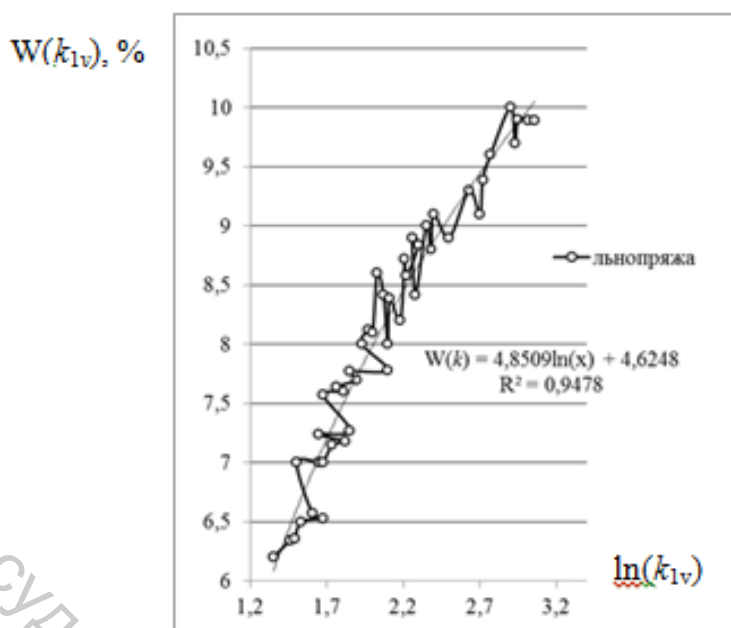


Рисунок 5 – Зависимость влажности льняной пряжи $W(k_{1v})$ от логарифма относительного коэффициента анизотропии $\ln(k_{1v})$

Для прогнозирования прочностных и деформационных свойств полимерных материалов, обладающих слабой анизотропией, была использована взаимосвязь физических и механических характеристик. Установлено, что наиболее информационным параметром, косвенно характеризующим прочностные и деформационные свойства анизотропных материалов, является емкость зеркально-симметричного накладного измерительного конденсатора. В области малых толщин контролируемых образцов (межэлектродный зазор $r_s > h$), рабочая емкость ленточных ЗСНИК прямо пропорциональна как значению диэлектрической проницаемости для выбранного направления, так и толщине контролируемого образца h [3, 36] и косвенно отражает число физических связей в сечении контролируемого образца. Эмпирически установлена двухпараметровая корреляция между предельной прочностью образца P_p , напряжением при разрыве σ_p , относительным удлинением при разрыве ε_p и емкостями дифференциального ЗСНИК, создающего поля в направлениях деформации образца и взаимно перпендикулярном ему. Статистическая обработка экспериментальных данных показала высокую корреляционную взаимосвязь между механическими характеристиками образцов и емкостями ЗСНИК. Для материала «барекс» корреляционная зависимость имеет вид:

$$\begin{aligned} P_p (H) &= - 790,78 + 310,05 \cdot C_x (\text{пФ}) + 0,1 \cdot C_y (\text{пФ}); \\ \sigma_p (\text{МПа}) &= - 2,90 + 1,10 \cdot C_x (\text{пФ}) + 0,03 \cdot C_y (\text{пФ}); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\varepsilon_p = 290,0 - 66,51 \cdot C_x (\text{пФ}) + 0,06 \cdot C_y (\text{пФ}).$$

Средние относительные ошибки аппроксимации не превышали 0,08, наименьший коэффициент корреляции составил 0,90 [37], в то же время, согласно работе [38], коэффициент корреляции между электрическими и механическими свойствами анизотропии в материалах на основе волокон составил 0,74. Низкое значение коэффициента корреляции вызвано невысокой чувствительностью НИК к анизотропии диэлектрических свойств, которая характеризуется компонентами тензора диэлектрической проницаемости. Предложенная методика позволяет прогнозировать поведение прочностных свойств полимерных материалов, обладающих слабой анизотропией.

Основным показателем, характеризующим структуру полуфабрикатов прядильного производства (волокнистые ленты, ровница), является распрямленность. Распрямленность оказывает существенное влияние на условия и эффективность процесса прядения: чем выше распрямленность и лучше ориентация волокна вдоль продукта (ленты), перерабатываемого на прядильной машине, тем стабильнее протекает процесс формирования пряжи.

Для оценки возможности применения электроемкостного метода для определения распрямленности волокон проведено исследование диэлектрических характеристик хлопковых лент, переработанных по различной системе прядения. В качестве образцов использовались ленты, полученные на чесальной и ленточной машинах по кардной системе прядения, и ленты, полученные на гребнечесальной и ленточной машинах по гребенной системе прядения. Коэффициент распрямленности волокон в исследуемых лентах определялся способом промера длины одиночных волокон [41].

Изменение коэффициента анизотропии по диэлектрической проницаемости волокнистых лент и коэффициента распрямленности волокон представлено на рисунке 6.

Значение коэффициента анизотропии чесальных лент составило $K_\varepsilon = 6,905$, гребенных лент – $K_\varepsilon = 6,074$, после переработке лент на ленточной машине коэффициент анизотропии снизился до $K_\varepsilon = 6,119$ и $K_\varepsilon = 5,466$ соответственно.

Для лент, перерабатываемых по кардной системе прядения хлопка, коэффициент распрямленности увеличился на 12,8 %, а коэффициент анизотропии по диэлектрической проницаемости при этом снизился на 12,8 %. Для лент, перерабатываемых по гребенной системе прядения хлопка, коэффициент распрямленности также увеличился на 11,2 %, а коэффициент анизотропии по диэлектрической проницаемости снизился на 9,9 %.

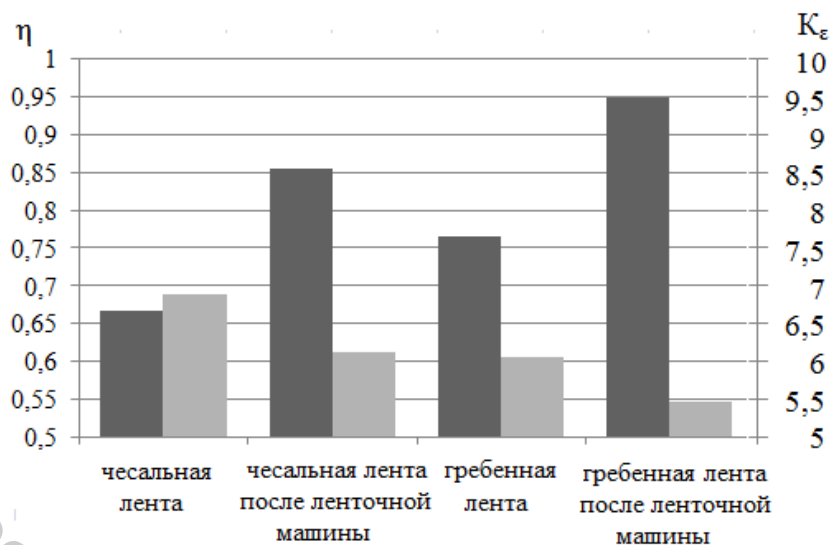


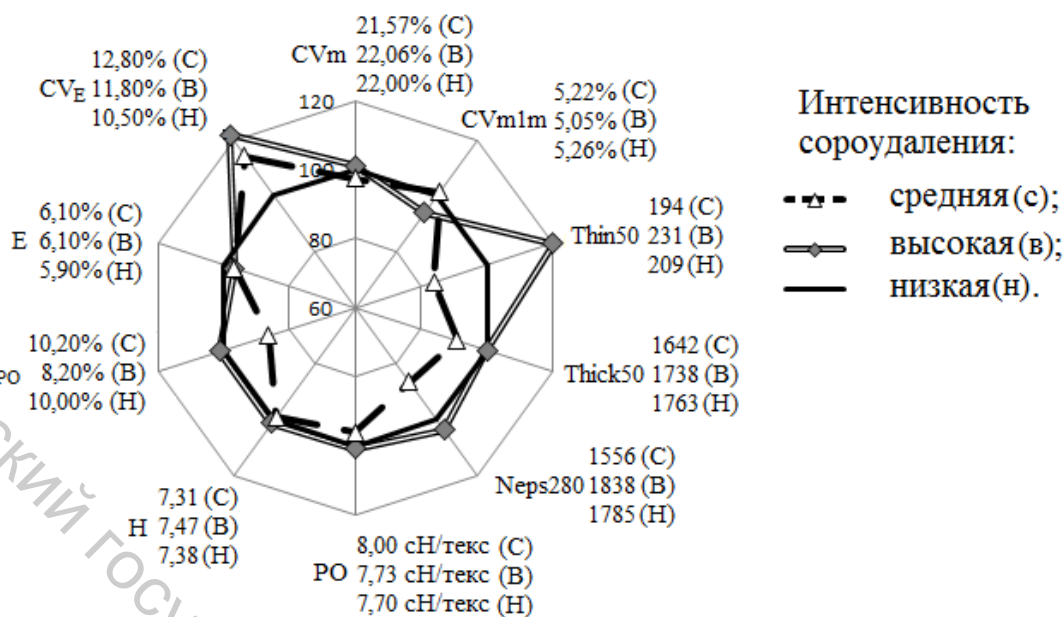
Рисунок 6 – Изменение коэффициента анизотропии от коэффициента распрямленности волокон

Полученные результаты свидетельствуют, что увеличение коэффициента распрямленности волокон приводит к снижению коэффициента анизотропии по диэлектрической проницаемости и подтверждают эффективность применения электроемкостного метода оценки распрямленности волокон в лентах по переходам прядильного производства.

Электроемкостной метод может быть использован для диагностики эффективности смешивания волокон технологических процессов производства пряжи.

Объектом исследования являлись опытные партии пряжи линейной плотности 50 текс (лен – 50 %, хлопок – 50 %), полученные на прядильной машине R40 при различной интенсивности сороудаления. Физико-механические свойства пряжи определялись с использованием разрывной машины АРМ и прибора Uster Tester. Результаты проведенных экспериментальных исследований опытных образцов пряжи показаны на рисунке 7.

За нормирующую величину были приняты характеристики пряжи при средней интенсивности сороудаления.



CVm – неровнота по линейной плотности на отрезках длиной один сантиметр, %; CVm1m – неровнота по линейной плотности на отрезках длиной один метр, %; Thin50 – количество утонений (– 50 %) на один километр пряжи; Thick50 – количество утолщений (+ 50 %) на один километр пряжи; Neps280 – количество непсов (+ 280 %) на один километр пряжи; PO – относительная разрывная нагрузка пряжи, сН/текс; E – относительное разрывное удлинение пряжи, %; H – удельная ворсистость пряжи; CV_{PO} – коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %; CV_E – коэффициент вариации по разрывному удлинению, %

Рисунок 7 – Лепестковая диаграмма качественных характеристик пряжи

Наилучшие параметры пряжи получены при средней интенсивности сороудаления. Пряжа, выработанная при высокой и низкой интенсивности сороудаления, уступает ей по ряду показателей:

- неровнота по линейной плотности на коротких отрезках больше на 1,57 % и 1,63, соответственно;
- относительная разрывная нагрузка меньше на 0,3 сН/текс и 0,33 сН/текс, соответственно;
- неровнота по разрывной нагрузке больше 1,8 % и 2,0 % соответственно.

С целью оценки влияния интенсивности сороудаления на равномерность распределения компонентов проведено измерение квадратической неровноты смешивания волокон в полученных образцах пряжи с помощью электроемкостного метода [3, 42]:

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

где $K_{см}$, 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, %; β_X , β_L – долевое содержание хлопкового и льняного волокна; α – коэффициент пропорциональности, зависящий только от среднего долевого содержания волокон компонентов в полуфабрикатах или пряже.

Методика проведения измерений диэлектрической проницаемости образцов аналогична. Результаты измерений показаны на рисунке 8.

Исследование неровноты смешивания компонентов в пряже из полученных партий с помощью разработанного макет-прибора показало, что одной из причин повышения показателей качества пряжи при средней интенсивности процесса сороудаления является снижение неровноты смешивания компонентов [43].

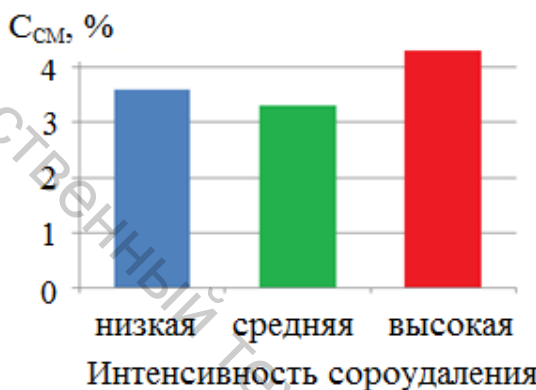


Рисунок 8 – Неровнота смешивания волокон в пряже при различной интенсивности сороудаления

Установлено, что высокие показатели качества пряжи достигаются при средней интенсивности процесса сороудаления, для оценки качества технологических процессов производства пряжи эффективно применение электроемкостного метода.

Выводы

Диэлькометрический метод [30, 33] обеспечивает контроль влажности материалов (волокон, пряжи, лент и т. д.) с точностью 0,5 – 1 %. В отличие от влагомеров ведущих фирм (Farmcomp, Semitronik, Delmhorst Instrument Company, Pfeuffer и других) разработанные макеты влагомеров позволяют осуществлять контроль влажности материалов при наличии дестабилизирующих факторов, таких как колебания влажности и температуры окружающей среды [33].

Методика оценки соотношения компонентов смесей волокон основана на различии сорбционных свойств контролируемых

материалов и зависимости дисперсии анизотропии диэлектрических свойств материала от его влажности [33]. Ее применение существенно сокращает трудоемкость определения состава смесей, исключает традиционную ручную методику оценки состава смеси волокон [33].

Эмпирически установлена двухпараметровая корреляция между предельной прочностью образца P_p , напряжением при разрыве σ_p , относительным удлинением при разрыве ε_p и емкостями датчика типа ЗСНИК, создающих поля в двух взаимно перпендикулярных направлениях: в направлении деформации образца и перпендикулярном ему [39, 40]. Показано, что средние относительные ошибки аппроксимации не превышают 0,08, а наименьший коэффициент корреляции – 0,90. В то время как коэффициент корреляции, установленный с помощью НИК, между электрическими и механическими свойствами анизотропии в материалах составил всего 0,74.

В результате экспериментальных исследования хлопковых волокнистых лент установлено, что коэффициент анизотропии по диэлектрической проницаемости отражает изменение распрямленности волокон в исследуемых образцах. При изменении распрямленности волокон в среднем на 12,0 %, изменение коэффициента анизотропии по диэлектрической проницаемости составило в среднем 11,4 %. Следовательно, экспериментально подтверждена возможность использования диэлектрического метода для оценки распрямленности волокон по переходам прядильного производства [42,43].

ГЛАВА 10. МЕХАНИЗМЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОГО И ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРАЦИОННЫХ СТРУКТУР

Введение. Проблемы глобализации и усиления влияния институциональной среды на деятельность предприятий, а также связанное с этим усиление конкуренции на внутреннем и внешнем рынках актуализируют проблему повышения конкурентоспособности предприятий.

Актуальность темы исследования подтверждается снижением эффективности и конкурентоспособности субъектов текстильного и швейного производства. Так, анализ состояния текстильного и швейного производства Республики Беларусь за период 2009 – 2014 гг. выявил следующие негативные моменты: снижение удельного веса производства в общем объеме промышленного производства с 3,4 % в 2009 г. до 3,0 % в 2014 г.; увеличение удельного веса убыточных организаций в общем числе организаций вида экономической деятельности с 18,5 % в 2009 г. до 26,8 % в 2014 г.; снижение рентабельности продаж с 8,1 % в 2009 г. до 5,9 % в 2014 г. [11, с. 128; 4, с. 425 – 426].

Фактором повышения конкурентоспособности выступают инновации. Анализ инновационной деятельности субъектов текстильного и швейного производства выявил негативные процессы: низкий удельный вес инновационной продукции организаций концерна «Беллепром» (5 %) [5]; снижение числа организаций, осуществляющих инновационную деятельность (на 38 единиц в 2014 по сравнению с 2011 г.) [5, с. 73; 12, с. 83].

Зарубежный опыт свидетельствует о многообразии форм интеграции: стратегические альянсы, кластеры, холдинги, финансово-промышленные группы, тресты и др. Эти интеграционные структуры способствуют повышению конкурентоспособности предприятий, отраслей и национальной экономики за счет: активизации инноваций в результате свободного обмена информацией и быстрого распространения новшеств между субъектами интеграции; совместного финансирования исследований и разработок; улучшения качества ресурсов вследствие совместных инвестиций в техническое развитие поставщиков, в инфраструктуру; роста инвестиционной активности.

Однако методы создания интеграционных структур на предприятиях, используемые в странах с развитыми рыночными отношениями, нельзя полностью перенести в условия Республики Беларусь из-за специфики институциональных условий. Необходима

разработка методов формирования и развития интеграционных процессов на предприятиях с учетом экономической модели Республики Беларусь и институциональной среды, а также с учетом особенностей текстильного и швейного производства. Этим и обусловлена актуальность темы.

Проблема повышения конкурентоспособности в условиях интеграции нашла свое развитие в трудах российских ученых, таких как: Абалкин Л.И., Азоев Г.Л., Багиев Г.Л., Винслав Ю., Клейнер Г.Б., Колесов Н.Д., Макаров В.Л., Мовсесян А.Г., Фатхутдинов Р.А., Юданов А.Ю. и др.

Белорусские исследователи проблем конкурентоспособности организаций, отраслей и межотраслевых комплексов – Александрович Я.М., Богданович А.В., Быков А.А., Головачев А.С., Пинигин В.В., Полоник С.С., Шимов В.Н., Хамчуков Д.Ю.

Вместе с тем методологические аспекты влияния интеграции на конкурентоспособность экономических субъектов, а также вопросы создания интеграционных структур в текстильной промышленности не достаточно исследованы в отечественной и зарубежной литературе.

Целью исследования является разработка методов создания интеграционных структур в повышении конкурентоспособности текстильного и швейного производства Республики Беларусь.

Задачи исследования:

- 1) определить сущность и отличительные характеристики форм интеграционных структур;
- 2) идентифицировать предпосылки создания текстильного холдинга в Витебском регионе;
- 3) разработать методы создания интеграционных структур на предприятиях Республики Беларусь.

Сущность и формы интеграционных структур

Вопросы сущности и форм интеграции хозяйствующих субъектов, методов оценки эффективности и направлений создания интегрированных структур в экономике исследованы как зарубежными (в том числе российскими), так и отечественными учеными: Р. Акофф, И. Ансоф, Р. Брейли; российские ученые Ю.Б. Винслав, И.Г. Владимирова, М.М. Вороновицкий, В.Е. Дементьева, Е.Л. Драчева, О.П. Иванова, А.М. Либман, А.С. Плещинский, В.И. Токмаков, М.А. Эскиндаров, Ю.В. Якутин; белорусские ученые – И.Л. Акулич, В.С. Фадеев, А.А. Быков, Н.И. Богдан, В.В. Валетко, И.В. Новикова, П.Г. Никитенко, С. Ф. Пятинкин, Д.Ф. Рутко, Н.Г. Синяк, Г.А. Яшева и др.

Обзор различных подходов к определению интеграционной структуры [6, с. 19; 8; 13, с. 32; 21, с. 32] показал, что авторы не однозначны в своих трактовках.

В условиях постиндустриальной экономики одним из важнейших факторов экономического роста выступают связи, отношения. Тренд современной внешней среды – развитие информационно-коммуникационных технологий – создает возможность для установления взаимосвязей и сетевого сотрудничества.

Взаимосвязи и сотрудничество формируются по цепочке ценности [18]. Концепция цепочки создания ценности М. Портера дает возможность оценить существующие на предприятии виды деятельности, которые нацелены на получение прибыли, и определить виды связей: с поставщиками и потребителями; технологические связи внутри цепочки ценностей одного подразделения предприятия в процессе проектирования, производства, маркетинга, при выполнении вспомогательных функций. Однако механизм формирования этих связей у М. Портера не описан.

Суть предлагаемой концепции повышения конкурентоспособности субъектов хозяйствования состоит в создании ценностей для потребителя посредством разработки методов интеграции со всеми стейкхолдерами для продления и развития цепочки ценностей.

Продление цепи создания ценности – это процесс формирования партнерских отношений и взаимодействий, объединение интересов, ресурсов между следующими субъектами: отделами во внутренней среде предприятия; бизнес-субъектами, взаимосвязанными по технологической цепи, в целях добавления ценности в процессе разработки, производства, реализации и доставки потребителю продукта путем внедрения отношений сетевого сотрудничества и партнерства.

Развитие цепи создания ценности – это процесс формирования партнерских отношений и взаимодействий, объединение интересов, ресурсов субъектов хозяйствования, которые участвуют в цепочке создания ценностей, между участниками, связанными в технологической цепи и другими стейкхолдерами из других сфер деятельности (учреждения образования, кадровые агентства, маркетинговые центры, орган государственного управления, банковские учреждения, конкуренты и др.) в целях увеличения ценности путем организации сетевого сотрудничества стейкхолдеров.

Конкурентоспособность и ценность – это понятия связанные между собой: чем выше ценность объекта для потребителя, тем выше

его конкурентоспособность. Таким образом, для обеспечения конкурентоспособности необходимо повышать ценность.

В качестве методологической основы для создания интеграционной структуры предлагается использовать модель продления и развития цепочки создания ценности предприятия, рассмотренной в работе автора [2, с. 162 – 173], отличительной чертой которой является идентификация субъектов сетевого сотрудничества в целях создания дополнительной ценности.

Определим критерии интеграционных структур с точки зрения концепции цепочки ценностей.

1. Результатом интеграционного взаимодействия между субъектами должно являться создание бизнес-структуры. Под бизнес-структурой понимается система сложившихся взаимоотношений между равноправными и независимыми партнерами, способными одновременно реализовывать как конкурентные стратегии, так и стратегии, направленные на сотрудничество.

2. Формирование интеграционной структуры может иметь целью создание «мягкой» интеграционной структуры, то есть необязательное объединение активов либо «жесткой» – обязательное объединение активов.

3. Интеграционная структура должна строиться на горизонтальных и вертикальных связях между участниками сети.

4. Интеграционная структура должна базироваться на развитии сетевого сотрудничества.

Сетевое сотрудничество – это процесс установления длительных формальных и неформальных отношений между субъектами сети, объединенными в технологической цепи вертикальными и горизонтальными связями, основанных на доверии и общих для сети (делового сообщества) целях, нормах, традициях, правилах, обычаях [23, с. 53]. Направления развития сетевого сотрудничества рассмотрены в работе автора [1, 2].

Таким образом, на основе сформулированных выше критериев интеграционная структура – это бизнес-структура, основанная на взаимовыгодном сотрудничестве и доверии в целях повышения эффективности и конкурентоспособности всех его участников, которая включает следующие элементы: отраслевые объединения, промышленные предприятия, финансовые структуры, бизнес-партнеров (кооперационно-связанные между собой участники); связи (формальные и неформальные, горизонтальные и вертикальные) этих элементов; взаимодействие элементов и их связей, а также все процессы, происходящие между ними.

Функционировать эффективно может интеграционная структура, в которую входят субъекты, имеющие потенциал к развитию интеграции. Поэтому следующим понятием, требующим рассмотрения, является интеграционный потенциал. Это понятие необходимо для рассмотрения и оценки возможностей субъектов развивать интеграционные связи. С учетом разработанной теории представляется, что интеграционный потенциал предприятия – это совокупность ресурсов предприятия (финансовые, производственные, маркетинговые, инвестиционные, информационные), которые позволят субъекту формировать интеграционные связи в целях развития и продления цепочки создания ценности.

Проведенное теоретическое исследование содержания государственных программ в Республике Беларусь выявило отсутствие на государственном уровне однозначного понимания сущности интеграционных структур:

- холдинговая структура в льняной отрасли [19, с. 12];
- холдинг в льняной отрасли [3, с. 60];
- льняной кластер [20, с. 36].

Как видно, нет единого подхода в создании определенной формы интеграционной структуры: преимущество отдается кластеру и холдингу. На государственном уровне происходит отождествление понятий «холдинг» и «кластер».

Рассмотрим отличительные характеристики этих структур.

Холдинг и кластер имеют общие черты, свои преимущества и недостатки. Сравнительная характеристика кластера, «жесткого» холдинга, «гибридного» холдинга представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Отличительные характеристики форм интеграционных структур

Кластер	«Жесткий» холдинг	«Гибридный» холдинг
1	2	3
Создание		
по инициативе участников кластера, по их согласованному решению	по решению управляющей компании / собственника имущества или государственного органа – для государственных предприятий	по согласованному решению управляющей компании / собственника имущества или государственного органа – для государственных предприятий и по согласованному решению субъектов сетевого взаимодействия

Продолжение таблицы 1

Правовой статус		
не определен законодательством Республики Беларусь	определен законодательством (Указом Президента Республики Беларусь № 660 и Указом Президента Республики Беларусь № 287 (нужна регистрация) [14, 15]	не определен законодательством Республики Беларусь
Организационно-правовая форма		
ассоциация	холдинг	холдинг в соответствии с указом о внесении дополнений для поддержки и стимулирования сетевого сотрудничества
Наличие связей		
преобладание горизонтальных связей между участниками, их независимость друг от друга, развитые неформальные связи и доверие	основан на вертикальных связях между участниками и управляющей компанией холдинга	основан на вертикальных и горизонтальных связях, неформальных связях и доверии, коопетиции
Направление формирования конкурентоспособности		
за счет снижения транзакционных, логистических издержек	За счет снижения затрат (транзакционных, логистических)	за счет снижения транзакционных, логистических издержек, повышение потребительской удовлетворенности и ценности за счет сетевого сотрудничества в маркетинге, инновациях, повышение эффективности за счет коопетиции
Управление и координация		
создание коллегиального координационного органа кластера его участниками – независимость от координирующей структуры ассоциации	изначальное существование управляющей компании холдинга или собственника; управляющая компания (собственник) влияет на принимаемые участниками холдинга решения	создание органов по формированию сетевого взаимодействия и управлению холдингом
Самостоятельность и динамичность		
простота выхода из кластера	сложность выхода дочерней компании из холдинга	простота выхода из группы сетевого взаимодействия
Создание цепей ценностей		
устойчивые цепи ценностей, формирующие конкурентные преимущества	трудности в объединении предприятий разной подчиненности и формы собственности	объединение предприятий по технологической цепи и формирование сетевого взаимодействия с субъектами рынка

Окончание таблицы 1

Условие территориальной концентрации		
обязательно	имеет значение	для «жесткого» холдинга обязательно, для сетевого взаимодействия не столь важное значение

Источник: составлено автором на основе [7, 22, 23, 24, 25].

Проведенное сравнение позволяет сделать вывод, что наиболее гибкими интеграционными структурами являются кластеры и «мягкие» холдинги.

Преимущества кластеров и «мягких» холдингов состоят в следующем: снижение транзакционных издержек благодаря неформальным связям; активизация научных исследований и производство конкурентоспособной продукции благодаря совместным с субъектами мягкого холдинга программам научных исследований и разработок; увеличение экспорта благодаря совместным маркетинговым программам; увеличение продаж, ускорение оборота благодаря созданию цепочек поставок; повышение эффективности производственно-хозяйственной деятельности в целом благодаря синергетическому эффекту.

В то же время анализ характеристик холдинга (таблица 1) позволил выявить его *преимущества*: снижение затрат (транзакционных, логистических) благодаря кооперации и интеграции; повышение конкурентоспособности продукции по цене за счет снижения затрат и скидок посредникам; концентрация инженерного потенциала в холдинге, активизация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ за счет объединения поставщиков и производителей, их технического опыта и научно-исследовательских разработок; получение экономического эффекта за счет сокращения кадров управленцев путем создания единых управленческих служб в управляющей компании; гибкое реагирование на рыночные изменения, минимизация отрицательного воздействия конкуренции, объединение рисков дочерних структур, входящих в холдинг, что позволяет снизить негативное воздействие рисков; облегчение налоговой нагрузки за счет наличия льгот по налогу на прибыль: при движении имущества внутри холдинга, при инвестиционной деятельности; оптимизация финансирования дочерних компаний, входящих в холдинг за счет получения поддержки в сложные периоды их деятельности для научно-технического развития и модернизации производства посредством получения капитальных вложений из централизованного фонда управляющей компании холдинга; увеличение возможности привлечения внешнего финансирования за счет проведения единой

финансовой политики и высокой кредитоспособности заемщика – холдинговой управляющей компании; рост экспорта за счет совместных маркетинговых программ исследования рынка, позиционирования товара, продвижения и сбыта.

«Гибридный» холдинг включает преимущества:

а) «жесткого» холдинга: снижение затрат (транзакционных, логистических и др.) благодаря кооперации и интеграции; минимизация отрицательного воздействия конкуренции за счет объединения рисков дочерних структур, входящих в холдинг; оптимизация финансирования дочерних компаний, за счет перераспределения средств из централизованного фонда управляющей компании холдинга на научно-техническое развитие и модернизацию производства; конкурентное преимущество по цене за счет снижения себестоимости в холдинге;

б) кластера: снижение транзакционных издержек; повышение конкурентоспособности за счет активизации внедрения инноваций; создание инновационных товаров с высокой потребительской ценностью за счет сетевого сотрудничества; получение синергетического эффекта за счет сетевого сотрудничества.

Снижение себестоимости в «гибридном» холдинге обеспечивается за счет: специализации, роста производительности труда; экономии на 1 продукции за счет эффекта масштаба; закупки материально-технических ресурсов из 1 источника; скидки за объем и условия оплаты; объединения процессов сбыта (усиление логистических каналов, что снижает логистические издержки); сокращения численности аппарата управления за счет оптимизации структур, входящих в холдинг.

Предпосылки создания текстильного холдинга в Витебском регионе

Изучение внешней и внутренней среды отраслей и организаций в цепи ценностей производства текстильной и швейной продукции позволило выделить следующие факторы, способствующие интеграции стейкхолдеров в текстильном и швейном производстве в Витебском регионе.

1 предпосылка. Выгодное экономико-географическое положение и развитые транспортные коммуникации.

Витебская область занимает площадь 40,0 тыс. кв. км или 19,4 % общей площади Республики Беларусь и находится в ее северо-восточной части. Область граничит со Смоленской, Псковской областями Российской Федерации, Латвией, Литвой. Выгодность экономико-географического положения области состоит в том, что на ее территории проходят транспортные артерии, связывающие наиболее

крупные и развитые экономические регионы России (Санкт-Петербург и Ленинградская область, Москва и Московская область, северо-западные регионы) с Центральной и Западной Европой. Через Витебскую область проходит маршрут трансевропейского Критского транспортного коридора № 21 (Берлин – Варшава – Минск – Москва) и Критского транспортного коридора № 9 (Хельсинки – Витебск – Гомель – Киев – Пловдив).

2 предпосылка. Функционирование на территории области свободной экономической зоны «Витебск», на которую распространяется особый режим хозяйствования, привлекательный для организаций – потенциальных участников холдинга.

3 предпосылка. Значимый индустриальный потенциал Витебского региона.

Основу сформированного на территории региона хозяйственного комплекса составляет промышленность, в которой в 2014 году было занято 24,1 % общей численности занятого населения, произведено 58,6 % валового выпуска, 33,6 % валовой добавленной стоимости [11]. Направлениями специализации промышленного комплекса региона в республиканском разделении труда является переработка нефти и нефтехимия, производство текстильной продукции (синтетические и льняные материалы, ковры и ковровые изделия), производство обуви, станкостроение, электроэнергетика, добыча и переработка глинистого сырья. На территории области расположены РУПТП «Оршанский льнокомбинат», производящий практически 100 % льняных тканей Республики Беларусь; ОАО «Витебские ковры», доля продукции которого в республиканских объемах более 90 %; комплекс обувных предприятий, производящих более 40 % республиканских объемов данной группы, и др. В регионе находится единственный в республике меховой комбинат. Решающее влияние на результаты работы экономического комплекса области оказывают производственные объекты республиканского значения – ОАО «Нафтан», включая завод «Полимир», ОАО «Полоцкстекловолокно», Лукомльская ГРЭС.

4 предпосылка. Размещение на территории области организаций: 13 льнозаводов, ОАО «Витебскобллён» и РУПТП «Оршанский льнокомбинат», которые входят в подсекцию ДВ «текстильное и швейное производство».

По технологической цепи с предприятиями текстильного и швейного производства связана льняная отрасль, которая входит в состав текстильного производства.

Льняная отрасль в Республике Беларусь объединена в технологическую цепочку: льносеющие сельскохозяйственные организации – льнозаводы с экспортно-сортировочными льнобазами и

льносемстанциями – предприятия концерна «Беллегпром», в том числе РУПТП «Оршанский льнокомбинат». В настоящее время 148 сельскохозяйственных организаций занимаются производством льнотресты и льносемян, 36 льнозаводов – выращиванием льна и первичной переработкой льнотресты, 7 льносемстанций – заготовкой льносемян, 5 экспортно-сортировочных льнобаз – закупкой у льнозаводов льноволокна, его доработкой и реализацией за пределы страны [9].

В Витебской области создано и функционирует ОАО «Витебскобллен», которое осуществляет координирование деятельности льнозаводов области, а также осуществляет реализацию короткого и длинного волокна на экспорт.

По состоянию на 1 января 2016 года в состав объединения входит 13 льнозаводов (Филиал «Бешенковичский льнозавод» ОАО «Шумилинский льнозавод», ОАО «Верхнедвинский льнозавод», ОАО «Городокский льнозавод», ОАО «Дубровенский льнозавод», ОАО «Кохановский льнозавод», ОАО «Лепель-лен», ОАО «Лиозненский льнозавод», ОАО «Миорский льнозавод», ОАО «Мосарлен», ОАО «Ореховский льнозавод», ОАО «Плиссский льнозавод», ОАО «Поставский льнозавод», ОАО «Шумилинский льнозавод»), непосредственно занимающихся выращиванием и первичной переработкой льна. С 2005 года в состав объединения входит Оршанская экспортно-сортировочная база, занимающаяся непосредственно реализацией продукции объединения. Структурно объединение подчиняется Минсельхозпроду Республики Беларусь [17].

В последние годы произошла концентрация посевных площадей льна, количество льносеющих хозяйств сократилось. Средний размер посевной площади на одно льносеющее хозяйства превышает 100 га. Республика Беларусь производит одну треть льноволокна СНГ, на европейском континенте – 16 %, или почти 9 % его мирового производства (таблица 2).

Таблица 2 – Производство льноволокна по странам (тысяч тонн)

Страна	2010 год	2011 год	2012 год	2013 год
Беларусь	45,8	46,0	51,6	44,9
Бельгия	64,0	44,6	64,4	67,3
Болгария	0,1	0,1	0,1	0,1
Италия	0,4	0,2	1,5	3,0
Китай	44,9	39,6	38,4	24,4
Польша	0,2	0,2	0,2	0,2
Румыния	0,1	0,0	0,0	0,0
Соединенное Королевство	14,5	13,8	13,8	14,0
Франция	67,0	49,2	84,7	83,1

Источник: составлено автором на основе [10, с. 123].

По объемам производства льноволокна Республика Беларусь входит в число первых пяти стран мира из 26 его производящих (таблица 3).

Таблица 3 – Место, занимаемое Республикой Беларусь в мировом производстве льноволокна среди стран с самым высоким уровнем производства

Вид продукции	2010 год	2011 год	2012 год	2013 год	2014 год
льноволокно	3	2	3	3	4

Источник: составлено автором на основе [10, с. 121].

Под воздействием внешних факторов в последние годы посевные площади льна значительно сократились. Более половины объема льноволокна отгружается потребителям внутреннего рынка. В целом по Республике Беларусь площадь почв, пригодных под лен, составляет 28,1 % от общей площади пахотных земель [9].

Валовой сбор льноволокна в Республике Беларусь представлен на рисунке 1.

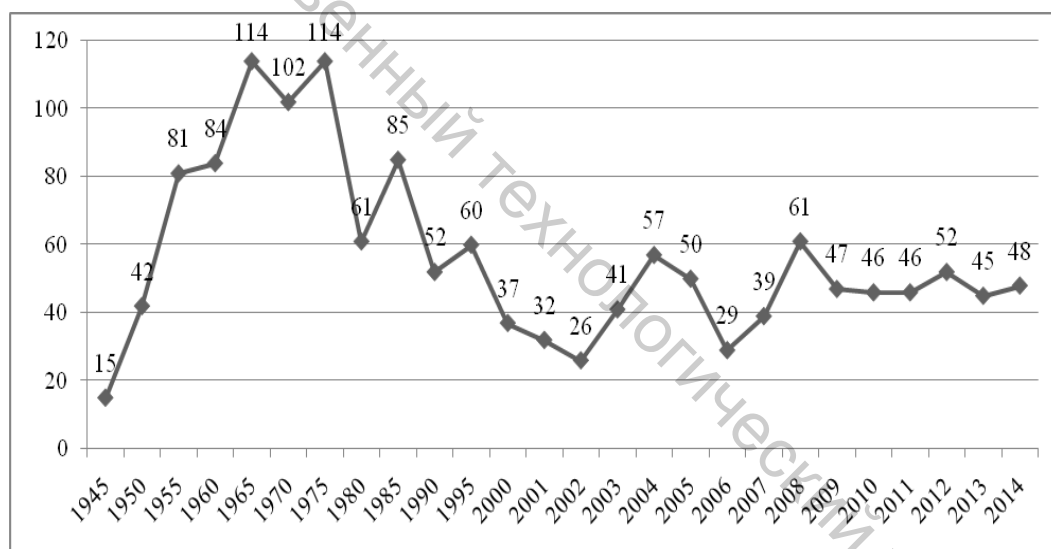


Рисунок 1 – Валовой сбор льноволокна в Республике Беларусь всех категорий в 1945 – 2014 гг., тыс. т

Источник: составлено автором на основе [9].

Основным переработчиком льна в Республике Беларусь является Республиканское унитарное производственное-торговое предприятие РУПТП «Оршанский льнокомбинат» – одно из крупнейших в Европе по производству льняных тканей и изделий из них.

Льнокомбинат представляет собой довольно масштабное производство, включающее 4 фабрики, в стенах которых происходит

полный цикл превращения льняного волокна в изделия. Производственный цикл включает производства: первичная обработка сырья, прядильное, ткацкое, окончательное (отделка ткани), пошив готовых изделий.

5 предпосылка. Лидерство Витебской области в производстве льняных тканей.

По производству льняных тканей Витебская область в Республике является лидером (таблица 4).

Таблица 4 – Производство льняных тканей по областям (тысяч погонных метров)

Страна / область	2012 год	2013 год	2014 год
Республика Беларусь	18 837	18 147	16 599
Брестская область	–	–	–
Витебская область	18 814	18 135	16 443
Гомельская область	10	6	–
Гродненская область	–	–	–
Минская область	13	6	7
Могилевская область	–	–	149

Источник: составлено автором на основе [11, с. 131].

6 предпосылка. Локализация и специализация региона на швейном и текстильном производстве.

В связи с переходом на ведение статистического учета в разрезе видов экономической деятельности (в соответствии с Общегосударственным классификатор Республики Беларусь «Виды экономической деятельности» ОКРБ 005 – 2006 [16]) считаем целесообразным также проведение анализа коэффициентов локализации производства на территории региона и специализации региона на конкретном виде экономической деятельности в разрезе видов экономической деятельности.

Коэффициенты локализации производства на территории региона и специализации региона на конкретном виде экономической деятельности для Витебского региона в разрезе видов экономической деятельности в 2012 – 2014 гг. представлены в таблице 5.

Анализируя значения коэффициентов локализации производства на территории региона и специализации региона на конкретном виде экономической деятельности в совокупности, можно сделать вывод, что существуют предпосылки для интеграции в Витебском регионе по виду экономической деятельности «текстильное и швейное производство» (подсекция DB), коэффициент локализации текстильного и швейного производства в Витебском регионе равен 5,4, коэффициент специализации – наивысший по регионам Республики Беларусь – 11,7.

Таблица 5 – Коэффициенты локализации производства на территории региона и специализации региона на конкретном виде экономической деятельности для Витебского региона в разрезе видов экономической деятельности в 2012 – 2014 гг.

Наименование показателя	2012 г.	2013 г.	2014 г.
1	5	6	7
Коэффициент локализации видов деятельности на территории Витебского региона			
производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака (подсекция DA)	0,68	0,77	0,73
текстильное и швейное производство (подсекция DB)	0,94	1,11	1,15
производство кожи, изделий из кожи и производство обуви (подсекция DC)	2,50	3,00	3,22
обработка древесины и производство изделий из дерева (подсекция DD)	0,64	0,74	0,73
целлюлозно-бумажное производство, издательская деятельность (подсекция DE)	0,13	0,18	0,24
производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов (подсекция DF)	2,20	3,01	2,79
химическое производство (подсекция DG)	1,66	0,85	0,94
производство резиновых и пластмассовых изделий (подсекция DH)	0,28	0,36	0,41
производство прочих неметаллических минеральных продуктов (подсекция DI)	0,42	0,48	0,45
металлургическое производство и производство готовых металлических изделий (подсекция DJ)	0,19	0,25	0,21
производство машин и оборудования (подсекция DK)	0,18	0,22	0,23
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования (подсекция DL)	0,47	0,58	0,54
производство транспортных средств и оборудования (подсекция DM)	0,06	0,10	0,10
прочие отрасли промышленности (подсекция DN)	0,28	0,28	0,28
Коэффициент специализации Витебского региона на данном виде деятельности			
производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака (подсекция DA)	1,438	2,259	2,370
текстильное и швейное производство (подсекция DB)	0,313	0,471	0,481
производство кожи, изделий из кожи и производство обуви (подсекция DC)	0,208	0,318	0,358
обработка древесины и производство изделий из дерева (подсекция DD)	0,094	0,165	0,198
целлюлозно-бумажное производство, издательская деятельность (подсекция DE)	0,021	0,035	0,049

Окончание таблицы 5

производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов (подсекция DF)	5,167	6,200	6,235
химическое производство (подсекция DG)	2,229	0,847	1,272
производство резиновых и пластмассовых изделий (подсекция DH)	0,115	0,188	0,198
производство прочих неметаллических минеральных продуктов (подсекция DI)	0,208	0,341	0,346
металлургическое производство и производство готовых металлических изделий (подсекция DJ)	0,146	0,224	0,185
производство машин и оборудования (подсекция DK)	0,188	0,282	0,235
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования (подсекция DL)	0,188	0,294	0,259
производство транспортных средств и оборудования (подсекция DM)	0,031	0,059	0,049
прочие отрасли промышленности (подсекция DN)	0,073	0,094	0,099

Источник: составлено автором на основе [4, 11].

Анализ коэффициентов специализации Витебского региона на конкретном виде экономической деятельности показал, что существуют предпосылки для интеграции в Витебском регионе по виду экономической деятельности «текстильное и швейное производство» (подсекция DB), так, коэффициент локализации равен 1,15, что больше 1, следовательно, предприятия текстильного и швейного производства сконцентрированы в данном регионе. Коэффициент специализации равен 0,48 в 2014 г., меньше 1, следовательно, в данной отрасли не существуют интеграционные структуры, их создание является возможным, так как наблюдается их динамика в сторону увеличения за 2012 – 2014 гг.

7 предпосылка. Наличие достаточно развитого научно-исследовательского потенциала и системы подготовки кадров, отвечающих структуре социально-экономического комплекса.

В Витебском регионе функционирует 4 учреждения НАН Беларуси, 11 исследовательских и конструкторских подразделений промышленных организаций, 5 государственных учреждений, обеспечивающих получение высшего образования и ведущих активную научно-исследовательскую деятельность. По достаточно широкому спектру направлений создана многоуровневая система подготовки от кадров рабочих специальностей до специалистов высшего звена: швейная, текстильная промышленность. На территории области осуществляют свою деятельность 2 научно-технологических парка –

на базе УО «Витебский государственный технологический университет» и УО «Полоцкий государственный университет».

Главным учебным заведением, готовящим специалистов высшего звена в области текстильного и швейного производства является УО «Витебский государственный технологический университет». Кроме того, создано Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета» – это государственная организация, учредителем которой является Министерство образования Республики Беларусь и учреждение образования «Витебский государственный технологический университет».

Статус Технопарка государственное предприятие «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета» получило в соответствии с приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь № 275 от 25 октября 2010 г.

В соответствии с приказом ГКНТ от 26 декабря 2013 г. № 434 «О регистрации и продлении срока регистрации в качестве субъектов инновационной инфраструктуры (научно-технологических парков)» Республиканскому инновационному унитарному предприятию «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета» продлен срок регистрации в качестве научно-технологического парка на три года, до 25 сентября 2016 г.

Государственное предприятие «НТПВГТУ» относится к категории вузовских технопарков, призванных наладить взаимосвязь ученого сообщества, талантливой студенческой молодежи с представителями реального сектора экономики в целях более динамичного внедрения вузовских инновационных разработок.

Также на территории Витебской области располагаются средне-специальные учебные заведения, готовящие специалистов для текстильного и швейного производства: УО «Витебский государственный индустриально-педагогический колледж», УО «Витебский государственный политехнический колледж легкой промышленности», УО «Витебский государственный профессиональный лицей № 4 легкой промышленности», УО «Оршанский государственный профессиональный лицей текстильщиков», УО «Оршанский государственный профессиональный лицей легкой промышленности».

В Витебском регионе действует Институт льна НАН Республики Беларусь. Основными приоритетными направлениями деятельности Института льна НАН Беларуси являются:

- создание новых высокопродуктивных сортов льна-долгунца различных групп спелости и высокоурожайных, с высоким содержанием жира, сортов льна масличного, имеющих высокие технологические и пищевые качества масла;
- первичное семеноводство районированных и перспективных сортов льна-долгунца и льна масличного;
- разработка экологически безопасных, ресурсосберегающих технологий возделывания и уборки новых и перспективных сортов льна-долгунца и льна масличного в условиях Республики Беларусь;
- разработка агротехнических приемов повышения урожайности и качества льнопродукции и снижение себестоимости производства льняной продукции;
- мониторинг морфофизиологического и фитосанитарного состояния посевов льна-долгунца;
- совершенствование приемов управления процессами, происходящими при вылежке льняной соломы;
- внедрение научных разработок в сельскохозяйственное производство, повышение квалификации кадров льноводческой отрасли.

Таким образом, имеющиеся предпосылки подтверждают актуальность создания текстильного холдинга в Витебской области.

Структурирование «гибридного» текстильного холдинга

В соответствии с разработанной концепцией развития и продления цепи ценности на основе авторской методики анализа интеграционных связей [2] структурирована схема «гибридного» текстильного холдинга, идентифицированы его субъекты (рисунок 2).

Состав организаций для сетевого сотрудничества и создания цепочек ценности включает компании из разных сфер для развития и продления цепи создания ценности: научно-исследовательские организации, образовательные учреждения, торговые дома, рекламные агентства, административные органы республиканского и регионального уровня, консалтинговые и инжиниринговые центры, банковские, страховые, инвестиционные, аудиторские компании.

В существующих организационных структурах управления холдингами в Республике Беларусь не предусмотрены органы, обеспечивающие сетевое взаимодействие. Поэтому с учетом рекомендованного «гибридного» холдинга в текстильном производстве для обеспечения сетевой работы предлагается ввести структуры: Координационный Совет и Рабочую группу.

Поскольку РУПТП «Оршанский льнокомбинат» не является акционерным обществом, то Координационный Совет будет выполнять функции общего собрания как высшего органа управления.

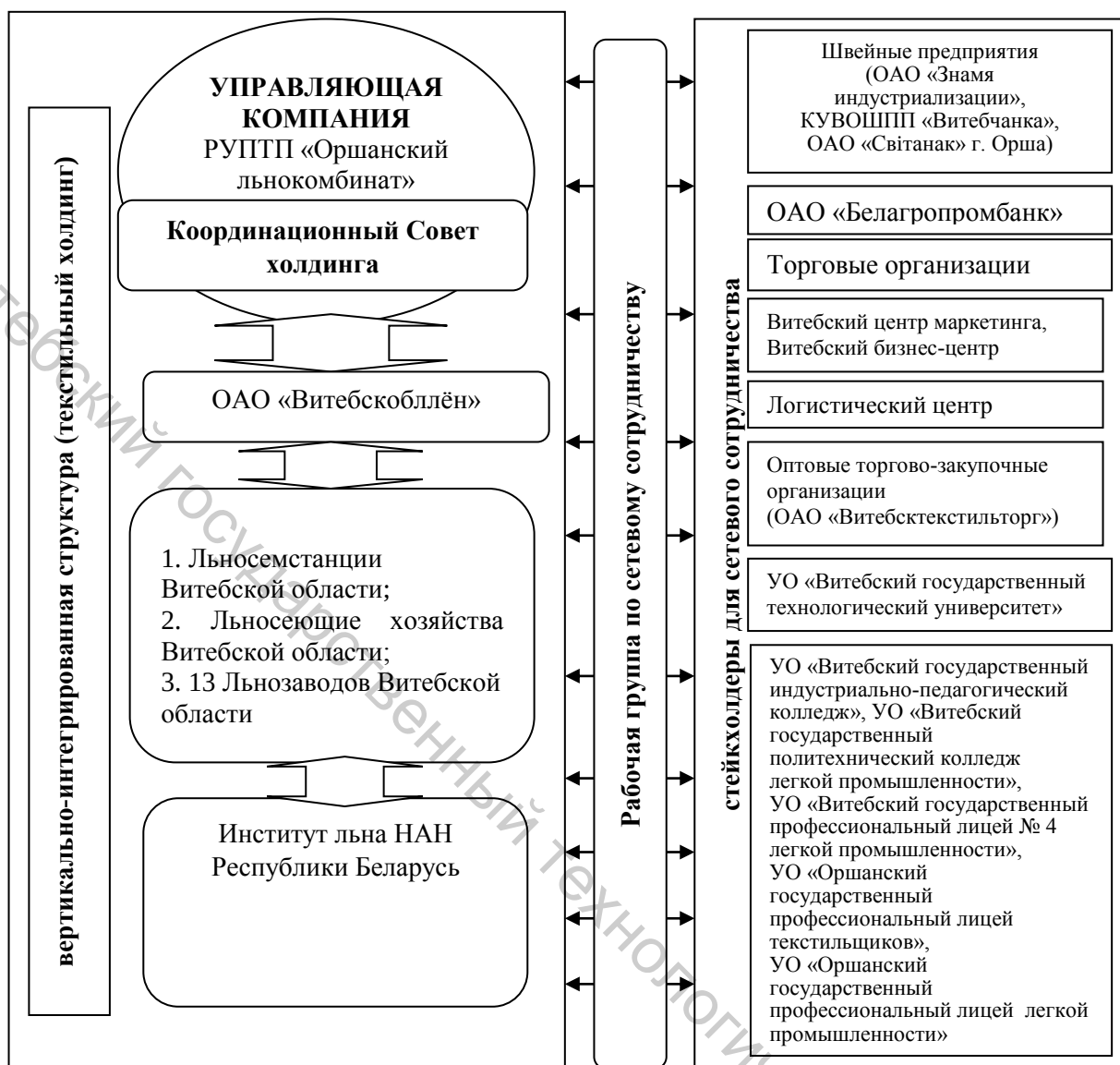


Рисунок 2 – Модель холдинга «Белорусский лен»

Составлено автором.

Координационный совет представляет собой высший руководящий орган в текстильном холдинге, который формирует и координирует деятельность компании во всех областях.

Целью деятельности Координационного совета является реализация политики холдинга в области обеспечения качества выпускаемой продукции и реализации произведенной продукции.

Основными задачами Координационного совета выступают:

- определение проектов стратегии, политики, миссии, целей и задач работы холдинга и в сфере формирования сетевого сотрудничества;
- координация текущей работы предприятий холдинга;

- определение основных направлений работы (краткосрочные и перспективные) и сетевого взаимодействия;
- подготовка предложения по бюджету холдинга и календарному плану работ;
- организация взаимодействия холдинга с субъектами взаимодействия;
- координация деятельности рабочих групп, осуществляющих работу по формированию сетевого взаимодействия.

Для обеспечения сетевой работы холдинга предложено создать Рабочую группу, которая будет разрабатывать и реализовывать направления сетевого взаимодействия стейкхолдеров.

Методы развития интеграционных процессов на предприятиях Республики Беларусь

В условиях усиления конкуренции на товарных рынках и возрастания потребностей покупателей основными факторами конкурентоспособности являются инновации и маркетинг. В соответствии с разработанной концепцией продления и развития цепи ценностей для создания конкурентных преимуществ в рамках текстильного гибридного холдинга предлагается продлевать и развивать цепочки ценностей во взаимосвязях: наука – производство; образование – наука – производство; производство – маркетинг; маркетинг – сбыт.

Для формирования конкурентных преимуществ в инновациях предлагаются методы сотрудничества стейкхолдеров в цепи: образование – наука – производство.

1. Создание представительств вертикально-интегрированного холдинга в региональных университетах через:

- создание совместных кафедр;
- создание совместных научно-исследовательских лабораторий, в состав которых должны входить заведующий, сотрудники кафедры, студенты, работники холдинга.

2. Создание корпоративных учебных центров в управляющей компании холдинга совместно с региональными университетами.

Корпоративный учебный центр – это форма обучения персонала, при которой оно ведется «в стенах» самой организации и, в основном, ее собственными силами. Отличия от академической формы обучения в университете:

- практическая, целевая направленность;
- основная форма обучения – электронная (в том числе дистанционная);
- использование в качестве преподавателей (бизнес-тренеров) своего персонала.

Корпоративный учебный центр является основным инструментом реализации стратегии обучения и развития персонала в компании. Этот инструмент нацелен на обеспечение потребности компании в квалифицированных кадрах в долгосрочной перспективе.

3. Создание научно-технических спин-офф предприятий.

Инновационные компании, открытые на базе университетов, позволяют превратить результаты исследований и открытий в качественные образцы изделий с более высокими потребительскими, технологическими, техническими, экономическими и иными свойствами, чем существующие, а также обеспечивают вчерашних студентов дополнительными рабочими местами.

Основные функции научно-технических спин-офф предприятий включают: создание добавленной стоимости путем разработки из научных результатов технологического продукта под индивидуальный профиль спроса; ускорение завершающих стадий инновационного процесса; обеспечение недорогого и бесконфликтного канала для коммерциализации результатов исследований и трансфера технологий из науки в производство; обеспечение не количества, но качества создаваемых рабочих мест: эффективной формы занятости высокообразованных кадров как альтернативы межотраслевой и международной «утечке мозгов»; замещения простого человеческого труда сложным путем внедрения новых технологий [14, с. 5].

Учредителем этого инновационного предприятия предлагается управляющая компания холдинга.

Рекомендуемой организационной формой реализации результатов исследований и разработок является основание фирмы с сохранением прочных связей с родительской организацией, то есть холдингом и вузом.

Направления сетевой работы в рамках научно-технического спин-офф предприятия заключаются в производстве наукоемкой продукции:

- совместное (ученые университета и предпринимательских структур) выполнение исследовательских работ;
- совместное конструирование и разработка инновационных продуктов;
- совместная разработка инновационных товаров из продуктов переработки;
- совершенствование дизайна продукта;
- инновационное оборудование;
- совместная разработка и производство высокотехнологичных товаров.

Для обеспечения *сотрудничества в научно-технологической сфере* в цепи наука – производство предлагается *создание технологических платформ*. Технологическая платформа должна объединить усилия представителей холдинга, субъектов сетевого взаимодействия, науки и государства.

Задачами технологической платформы являются: координация исследований, осуществляемых на доконкурентной стадии, в том числе в рамках формируемой системы технологического прогнозирования, в которую входит: выявление пакетов технологий, в том числе ключевых производственных технологий, которые могут обеспечить устойчивую конкурентоспособность холдинга на мировом рынке; определение тематических областей исследований, фундаментальных и прикладных проблем, решение которых необходимо для формирования соответствующих пакетов технологий; оценка необходимого ресурсного обеспечения для проведения исследований.

Форум будет представлять собой площадку, на которой будут собираться представители холдинга, стейкхолдеры и чиновники регионального уровня для обсуждения вопросов развития и повышения эффективности текстильного производства.

В условиях глобализации и усиления международной конкуренции традиционные факторы конкурентоспособности – цена и качество – быстро копируются, поэтому конкуренция переносится в цепочку ценности маркетинг – производство – сбыт. Для стейкхолдеров текстильного холдинга предлагаются следующие *методы сотрудничества в маркетинге*:

- использование со-брендинга, то есть совместное использование коммуникационных каналов несколькими партнерами для развития рыночной ниши, при котором суммарный эффект превышает результаты использования тех же каналов каждым из партнеров по отдельности;
- проведение совместных маркетинговых исследований зарубежных рынков;
- совместные программы сегментирования рынка и позиционирования товара;
- совместные программы продвижения товаров на внешнем рынке, включая рекламу, стимулирование сбыта, проведение торгово-промышленных выставок-ярмарок;
- создание единых информационных сетей между участниками сетевого взаимодействия на основе CRM-технологий.

Выводы

Характер новой экономики – постиндустриальной, «сетевой» требует новых подходов к повышению ее эффективности и

конкурентоспособности. Таким подходом представляется создание интеграционных структур кластерного типа с сетевым взаимодействием.

В результате проведенного теоретического исследования разработан понятийный аппарат интеграции, включающий: сущность интеграционной структуры, идентификацию отличительных характеристик структур кластерного типа (холдинга, кластера, гибридного холдинга). Выявлены преимущества гибридного холдинга и дана его характеристика.

Идентифицированы предпосылки создания гибридного холдинга текстильного производства в Витебском регионе, включая: территориальный ресурс; индустриальный потенциал; локализацию и специализацию Витебского региона на швейном и текстильном производстве; научно-исследовательский потенциал. Структурирована схема «гибридного» текстильного холдинга, идентифицированы его субъекты.

В соответствии с авторской концепцией продления и развития цепочки ценностей разработаны методы развития интеграционных процессов на предприятиях Республики Беларусь, в том числе в сфере науки и образования (создание представительств вертикально-интегрированного холдинга в региональных университетах, корпоративных учебных центров в управляющей компании холдинга совместно с региональными университетами, научно-технических спин-офф предприятий); в научно-технической сфере (создание технологической платформы); в маркетинге (использование со-брендинга, проведение совместных маркетинговых исследований зарубежных рынков).

Разработанные теоретико-методологические основы создания интеграционных структур могут быть использованы в других секторах экономики с целью создания и продления цепи ценностей и формирования устойчивых конкурентных преимуществ. Экономический эффект будет состоять в повышении конкурентоспособности субъектов за счет ресурса сетевого сотрудничества в цепи ценностей. Создание цепочек ценностей, сотрудничество бизнеса с образовательной сферой, исследовательскими организациями способствует, с одной стороны, формированию факторов конкурентоспособности в инновациях, маркетинге и сбыте. С другой стороны, интеграция способствует увеличению инвестиционных ресурсов, снижению себестоимости, увеличению финансовых результатов интеграционных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

ГЛАВА 1

1. Дягилев, А. С. Информационная система контроля качества льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк // Материалы докладов 47 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 222–224.

2. Дягилев, А. С. Использование современных веб-технологий при разработке программных интерфейсов / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк // Тезисы докладов 48 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета. – Витебск, 2015. – С. 72.

3. Dyagilev, A. Information system of longstaple flax quality control / A. Dyagilev, A. Biziuk // Education and science in the 21st century : articles of Institution Scientific Practical Conference, March 25, 2015 / Vitebsk State Technological University. – Vitebsk, 2015. – P. 27–29.

4. Дягилев, А. С. Контроль качества льноволокна в производственных условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 25-26 ноября 2015 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – С. 44-45.

5. Дягилев, А. С. Производственный контроль качества длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2015. – № 2. – С. 59–62.

6. R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>

7. СТБ 1195–2008. Волокно льняное трепаное длинное. Введ. 2008–04–30. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2008. – 30 с.

8. ГОСТ 10330–76. Лен трепаный. Введ. 1989–01–01. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 23 с.

9. СТБ 2064-2010. Лен чесаный. Технические условия. Введ. 2010–05–20. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2010. – 20 с.

10. ТУ РБ 00311852.067–97. Очес льняной. Введ. 2013–02–22. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2012. – 29 с.

11. Отраслевые нормы и нормативы расхода льняного сырья (смеси его с химическими волокнами) в прядении, расхода пряжи на производство ниток и крученой пряжи, отходов в ткачестве и отделке льняных (смешанных) тканей / Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Центр научных исследований

легкой промышленности» РУП «Центр научных исследований легкой промышленности», Минск, 2011. – 29 с.

12. Дягилев, А. С. Статистический анализ свойств длинного трепаного льноволокна при входном контроле качества / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, 26–27 ноября 2014 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 37–38.

13. Эфрон, Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа / Б. Эфрон. – Москва : Финансы и статистика, 1988. – 263 с.

14. Дягилев, А. С. Методы и средства исследований технологических процессов : учебное пособие для студентов вузов по спец. «Технология пряжи, тканей, трикотажа и нетканых материалов» / А. С. Дягилев, А. Г. Коган ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – 206 с.

15. Исследование неровноты многокомпонентной льносодержащей пряжи и разработка на этой основе новой технологии прядения : отчет о НИР согласно договору с БРФФИ № T12M–129 от 15 апреля 2012 г. (заключительный) : 2012–г/б–620 / УО «ВГТУ» ; науч. рук. Дягилев А. С. – Витебск, 2014. – 92 с.

16. Дягилев, А. С. Исследование и моделирование физико-механических свойств волокон котонизированного льна / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. – № 2 (356). – С. 37–41.

17. Дягилев, А. С. Оценка качественных характеристик длинного трепаного льна / А. С. Дягилев, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 27–28 ноября 2013 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2013. – С. 28–29.

18. Дягилев, А. С. Анализ длинного трепаного льноволокна урожая 2013 года / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, 26–27 ноября 2014 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 39–41.

19. Дягилев, А. С. Оперативный контроль качества длинного трепаного льноволокна в промышленных условиях / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Инновационные технологии развития текстильной и легкой промышленности», 21–22 октября 2014 г. / ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)». – Москва, 2014. – С. 10–11.

20. Дягилев, А. С. Исследование качественных характеристик белорусского длинного трепаного льноволокна урожая 2013 года / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2014. – Вып. 27. – С. 31–37.

21. Дягилев, А. С. Комплексный анализ белорусского длинного трепаного льноволокна урожая 2013 года / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ – 2014) : сборник материалов, 18–19 ноября 2014 г. : 3 ч. / ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии». – Москва, 2014. – Ч. 1. – С. 122–126.

22. Дягилев, А. С. Контроль качества длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Материалы докладов 47 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 432–434.

23. Дягилев, А. С. Оценка прядильной способности длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Тезисы докладов 47 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 232.

24. Дягилев, А. С. Комплексный анализ белорусского длинного трепаного льноволокна урожая 2013 года / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации – 2014) : сборник материалов международной научно-технической конференции. – Москва, 2014. – С. 122–127.

25. Дягилев, А. С. Исследование цветовых характеристик льноволокна в процессе чесания / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2015. – Выпуск 29. – С. 31–42.

26. Дягилев, А. С. Моделирование процесса чесания длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Материалы докладов 48 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета : в 2 т. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – Т. 2. – С. 21–23.

27. Дягилев, А. С. Новая методика оценки прядильной способности длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Материалы докладов 48 международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной

50-летию университета : в 2 т. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – Т. 2. – С. 321–323.

28. Дягилев, А. С. О методике оценки прядильной способности длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Инновации — 2015) : сборник материалов, 17-18 ноября 2015 г. : в 4 ч. / ФГБОУ ВПО «МГУДТ». – Москва, 2015. – Ч. 2. – С. 45–48.

29. Дягилев, А. С. Оценка прядильной способности белорусского длинного трепаного льноволокна урожая 2013–2014 годов / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 25-26 ноября 2015 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – С. 343–344.

30. Дягилев, А. С. Оценка прядильной способности длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2015. – Выпуск 28. – С. 61–70.

31. Дягилев, А. С. Цветовые характеристики белорусского льноволокна урожая 2013–2014 годов / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 25-26 ноября 2015 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – С. 344–346.

32. Дягилев, А. С. Экспресс-оценка прядильной способности длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова». – Воронеж, 2015. – С. 350–354.

33. Dyagilev, A. Estimation and prediction of long scutched flax spinning ability / A. Dyagilev, A. Biziuk, A. Kogan // The 90th Textile Institute World Conference «Textiles: Inseparable from the human environment» : book of abstracts, Poznan, Poland, 25th-28th April 2016. – Poznan, 2016. – С. 30.

34. Dyagilev, A. Estimation and prediction of long scutched flax spinning ability / A. Dyagilev, A. Biziuk, A. Kogan // The 90th Textile Institute World Conference «Textiles: Inseparable from the human environment» : proceedings of, Poznan, Poland, 25th–28th April 2016. – Poznan, 2016. – С. 66–72.

35. Дягилев, А. С. Построение информационной системы для контроля качества длинного трепаного льноволокна / А. С. Дягилев, А. Н. Бизюк, А. Г. Коган // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 1 (361). – С. 51–54.

ГЛАВА 2

1. Филатов, В. Н. Упругие текстильные оболочки / В. Н. Филатов. – Москва : Легпромбытиздат, 1987. – 248 с.

2. Цитович, И. Г. Проектирование изделий из эластомерных полотен с учетом их деформационных свойств / И. Г. Цитович, Г. А. Набутовская // Текстильная промышленность. – 2004. – № 7-8. – С. 26-28.

3. Набутовская, Г. А. Современные подходы к конструированию трикотажных изделий из эластомерных полотен / Г. А. Набутовская, О. А. Орлова // Научный альманах. Специальный выпуск журнала «Текстильная промышленность». – 2007. – С. 38-39.

4. Проданчук, І. В. Розробка математичної моделі залежності впливу тиску на поверхню тіла дитини від механічних властивостей пакетів матеріалів шкільного форменного одягу при статичних і динамічних навантаженнях / І. В. Проданчук // Висник київського національного університету технологій та дизайну. – 2008. – № 6. – С. 72-77.

5. Maklewska, E. Modelling and designing of knitted products used in compressive therapy / E. Maklewska, A. Nawrocki, J. Ledwoń, K. Kowalski // Fibres and Text. East. Eur. – 2006. – 14, № 5. – P. 111-113.

6. Кобляков, А. И. Структура и механические свойства трикотажа / А. И. Кобляков – Москва : Легкая индустрия, 1973. – 240 с.

7. Сталевич, А. М. Закономерности процесса эластичного восстановления текстильной нити / А. М. Сталевич, В. Г. Тиранов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1980. – № 3. – С.106–107.

8. Макаров, А. Г. Вариант прогнозирования процессов деформирования синтетических нитей / А. Г. Макаров, А. М. Сталевич // Химические волокна. – 2001. – № 4. – С. 67-69.

9. Демидов, А. В. Методы компьютерного анализа вязкоупругости технических тканей / А. В. Демидов, А. Г. Макаров, А. М. Сталевич // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 3. – С.13–17.

10. Демидов, А. В. Системный анализ вязкоупругости полиэфирных нитей / А. В. Демидов, А. Г. Макаров, А. М. Сталевич // Химические волокна. – 2007. – № 1. – С. 62-65.

11. Демидов, А. В. Оптимизация выбора модели вязкоупругости синтетических нитей // А. В. Демидов, А. Г. Макаров, А. М. Сталевич // Химические волокна. – 2006. – № 6. – С. 58-60.

12. Демидов, А. В. Вариант математического моделирования деформационных процессов синтетических нитей / А. В. Демидов, А. Г. Макаров, А. М. Сталевич // Химические волокна. – 2007. – № 6. – С. 49-51.

13. Демидов, А. В. Моделирование сложных деформационных процессов материалов текстильной промышленности / А. В. Демидов, А. Г. Макаров, А. М. Сталевич // Текстильная промышленность. – 2006. – № 8. – С. 14-16.

14. Мишаков, В. Ю. Математическое моделирование деформационных свойств нетканых материалов с изменяющейся жесткостью / В. Ю. Мишаков, Г. Я. Слуцкер, А. М. Сталевич // Химические волокна. – 2006. – № 2. – С. 64-67.

15. Сталевич, А. М. Прогнозирование восстановительного деформационного процесса и обратной релаксации полимерных материалов / А. М. Сталевич, А. Г. Макаров // Химические волокна. – 2002. – № 3. – С. 10-13.

16. Демидов, А. В. Критерии оптимального выбора математической модели вязкоупругости текстильных материалов / А. В. Демидов, А. Г. Макаров, А. М. Сталевич // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 5. – С. 21-25.

17. Столяров, О. Н. Моделирование деформационных свойств трикотажа из текстурированных полиамидных нитей / О. Н. Столяров, С. В. Макаренко, А. В. Труевцев, А. М. Сталевич // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 5. – С. 63-66.

18. Столяров, О. Н. Прогнозирование деформированных состояний трикотажа из текстурированных полиамидных нитей / О. Н. Столяров, С. В. Макаренко, А. В. Труевцев, А. М. Сталевич // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 1. – С. 20-23.

19. Тиранов, В. Г. Описание нелинейной зависимости между напряжением и деформацией комплексных нитей / В. Г. Тиранов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1984. – № 6. – С. 8-12.

20. Тиранов, В. Г. Качественное и количественное описание изохронных зависимостей между напряжением и деформацией комплексной нити капрон / В. Г. Тиранов, А. Л. Сазонов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985. – № 2. – С. 13-15.

21. Щербаков, В. П. Прикладная механика нити : учебное пособие / В.П. Щербаков. – Москва : РИО МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2001. – 301 с.

22. Кукин, Г. К. Текстильное материаловедение (волокна и нити) / Г. К. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 271 с.

23. Матуконис, А. В. Строение и механические свойства неоднородных нитей / А. В. Матуконис. – Москва : Легпромбытиздат, 1971. – 186 с.

24. Нарисава, И. Прочность полимерных материалов / И. Нарисава. – Москва : Химия, 1987. – 400 с.

25. Иващенко, Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н. Н. Иващенко. – Москва : Машиностроение, 1973. – 606 с.

26. Зезюлин, Д. С. Разработка математической модели релаксационных процессов в трикотаже для компрессионных медицинских изделий / Д. С. Зезюлин, А. А. Кузнецов, Н. Л. Надежная, А. В. Чарковский // Материалы докладов 45 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ» ; редкол.: Е.В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2012. – С. 465-468.

27. Фурашова, С. Л. Использование модельных методов для описания релаксации напряжений обувных материалов / С. Л. Фурашова, В. Е. Горбачик, П. И. Скоков // Вестник Казанского технологического университета. – 2007. – № 6. – С. 71–75.

28. Надежная, Н. Л. Прогнозирование деформационных свойств трикотажа для компрессионных изделий / Н. Л. Надежная, А. А. Кузнецов, А. В. Чарковский // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2013. – Вып. 24. – С. 48-55.

29. Кузнецов, А. А. Прогнозирование показателей деформационных свойств текстильных нитей по результатам полуциклового испытания на растяжение / А. А. Кузнецов // Вестник учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». – 2007. – № 12. – С. 36–41.

ГЛАВА 3

1. Материалы официального сайта Ivtextile [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ivtextile.ru>. – Дата доступа : 25.04.2016.

2. Рынок хлопка [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.pxc.ru/Pages/Docs/cot_outlook8.pdf. – Дата доступа : 30.05.2016.

3. Катович, О. М. Анализ процессов разрыхления и очистки тонковолокнистого хлопка / О. М. Катович, С. С. Медвецкий, Н. В.

Скобова, А. В. Галиос // Вестник ВГТУ. – Витебск, 2008. – Вып. 14. – С. 76–80.

4. Катович, О. М. Исследование процесса вытягивания ленты из длинноволокнистого хлопка на ленточных машинах / О. М. Катович, С. С. Медвецкий, Н. В. Скобова // Вестник ВГТУ. – Витебск, 2009. – Вып. 16. – С. 70–73.

5. Катович, О. М. Снижение ворсистости гребенной пряжи малой линейной плотности / О. М. Катович, Д. Б. Рыклин, С. С. Медвецкий // Вестник ВГТУ. – Витебск, 2010. – Вып. 19. – С. 45–50.

6. Катович, О. М. Теоретико-экспериментальные исследования процесса гребнечесания на машине E66 фирмы Rieter / О. М. Катович, Д. Б. Рыклин // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы международной научной конференции / УО «ВГТУ». – Витебск, 2011. – С. 55–57.

7. Лешакова, Е. Н. Исследование эффективности процессов разрыхления и очистки на разрыхлительно-очистительном оборудовании фирмы Rieter / Е. Н. Лешакова, О. М. Катович // Тезисы докладов XLIII научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, 2010. – С. 128.

8. Катович, О. М. Технология полугребенной пряжи малой линейной плотности / О. М. Катович, С. С. Медвецкий, А. Г. Коган, Е. Н. Лешакова // Вестник ВГТУ. – Витебск, 2009. – Вып. 17. – С. 28–33.

9. Катович, О. М. Исследования процесса получения полугребенной ленты / О. М. Катович, С. С. Медвецкий, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы международной научной конференции / УО «ВГТУ». – Витебск, 2009. – С. 55–58.

10. Катович, О. М. Технология получения полугребенной хлопчатобумажной пряжи малой линейной плотности / О. М. Катович, С. С. Медвецкий, Н. В. Скобова // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль–2009) : тезисы докладов международной научно-технической конференции / ГОУВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина». – Москва, 2009. – С. 42–43.

11. Лешакова, Е. Н. Технологический процесс пряжи малой линейной плотности по полугребенной системе прядения / Е. Н. Лешакова, С. С. Медвецкий, О. М. Катович // Тезисы докладов XLIII научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, 2010. – С. 127–128.

12. Способ получения полугребенной хлопчатобумажной пряжи : пат. 16354 Респ. Беларусь, МПК D 02G 3/00 / О. М. Катович, С. С. Медвецкий, А. Г. Коган ; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Витебский государственный технологический

университет». – № а20100522 ; заявл. 2010.04.07 ; опубл. 2012.06.12 ;
Официальный бюллетень Государственного патентного ведомства
Республики Беларусь / Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2012.
– № 5. – С. 121.

13. Бадалов, К. И. Проектирование технологии хлопкопрядения :
учебник для вузов / К. И. Бадалов, А. Н. Черников, А. Ф. Плеханов, Л.
А. Трусова, А. С. Смирнов, Т. А. Дугинова. – Москва : МГТУ им А. Н.
Косыгина, 2004. – 601 с.

14. Коган, А. Г. Проектирование хлопкопрядильных производств :
учебное пособие / А. Г. Коган, Д. Б. Рыклин, С. С. Медвецкий, Н. В.
Скобова, А. А. Баранова, Л. Е. Соколов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. –
395 с.

15. Белицин, Н. М. Зависимость между свойствами пряжи и
свойствами волокна // Известия текстильной промышленности и
торговли. – 1967. – Вып. 5. – С. 46–52.

16. Проектирование технологии хлопкопрядения : учебник для
вузов / К. И. Бадалов [и др.]. – Москва : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2004.
– 601 с.

17. Катович, О. М. Моделирование состава сортировок для
производства гребенной пряжи / О. М. Катович // Тезисы докладов
XLVII международной научно-технической конференции
преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск,
2014. – С. 112–113.

18. Волокно хлопковое. Методы определения длины : ГОСТ
3274.5–72. – Введ. 01.01.1974. – Москва : Издательство стандартов,
1975. – 37 с.

19. Борзунов, И. Г. Прядение хлопка и химических волокон
(проектирование смесей, приготовление холстов, чесальной и гребенной
ленты) / И. Г. Борзунов, К. И. Бадалов, В. Г. Гончаров [и др.] // Москва :
Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 376 с.

20. Соловьев, А. Н. Проектирование свойств пряжи в
хлопчатобумажном производстве : диссертация ... доктора технических
наук : 05.19.02 / А. Н. Соловьев. – Москва : МТИ, 1951. – 386 с.

21. Севостьянов, А. Г. Методы и средства исследования механико-
технологических процессов текстильной промышленности / А. Г.
Севостьянов. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1980. –
392 с.

22. Катович, О. М. Проектирование разрывной нагрузки
полугребенной хлопчатобумажной пряжи / О. М. Катович // Тезисы
докладов XLVII международной научно-технической конференции
преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 238–
239.

23. Катович, О. М. Исследование параметров работы прядильного оборудования при получении гребенной пряжи из средневолокнистого хлопка / О. М. Катович, С. С. Медвецкий // Тезисы докладов XLIV научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, 2011. – С. 158.

ГЛАВА 4

1. Акиндинова, Н. С. Методика определения уработки нитей основы в гобеленовых тканях / Н. С. Акиндинова, Г. В. Казарновская // Вестник ВГТУ. – 2015. – Вып. 28. – С. 12-26.

2. Мартынова, А. А. Строение и проектирование тканей : учебник для вузов / А. А. Мартынова, Г. Л. Слостина, Н. А. Власова. – Москва : РИО МГТА, 1999. – С. 292.

3. Казарновская, Г. В. Мебельные ткани с использованием пряжи из короткого льняного волокна / Г. В. Казарновская, Н. С. Акиндинова // Вестник ВГТУ. – Витебск, 2005. – Вып. 7. – С. 39-42.

4. Гобеленовая ткань : пат. 13714 Респ. Беларусь, МПК D 03D 25/00, D 03D 11/00 / Н. С. Акиндинова, Г. В. Казарновская ; заявитель и патентообладатель УО «ВГТУ». – № а 20080910 ; заявл. 2008.07.10 ; опубл. 2010.02.28 ; Официальный бюллетень Государственного патентного ведомства Республики Беларусь / Нац. центр интеллектуальной собственности. – 2010. – № 5. – С. 111.

5. Акиндинова, Н. С. Структура современных гобеленовых тканей / Н. С. Акиндинова // Вестник ВГТУ. – 2012. – Вып. 23. – С. 7-18.

6. Акиндинова, Н. С. Параметры строения гобеленовых тканей новых структур / Н. С. Акиндинова, Г. В. Казарновская // Вестник ВГТУ. – 2012. – Вып. 22. – С. 7-12.

7. Казарновская, Г. В. Определение уработки нитей в гобеленовых тканях новых структур с использованием пряжи из короткого льняного волокна / Г. В. Казарновская, Н. С. Акиндинова // Вестник ВГТУ. – 2007. – Вып. 13. – С. 47-53.

8. Акиндинова, Н. С. Автоматизированное проектирование гобеленовых тканей новых структур / Н. С. Акиндинова, Г. В. Казарновская, Д. А. Иваненков // Вестник ВГТУ. – 2014. – Вып. 26. – С. 7-16.

ГЛАВА 5

1. Костин, П. А. Технология получения комбинированных термостойких электропроводящих пряжи и нитей для тканей специального назначения / П. А. Костин, Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2011. – Вып. 20. – С. 56-64.

2. Костин, П. А. Технология комбинированной электропроводящей пряжи для экранирующих тканей / П. А. Костин, Е. Г. Замостоцкий // Международная научно-техническая конференция «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль – 2009)» : тезисы докладов, 24-25 ноября 2009 г. / ГОУВПО «МГТУ им. А. Н. Косыгина». – Москва, 2009. – С. 32-33.

3. Костин, П. А. Исследование электрофизических свойств разработанного ассортимента электропроводящей пряжи / П. А. Костин // Материалы докладов международной научно-технической конференции (новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности) / УО «ВГТУ». – Витебск, – 2015. – С. 56-57.

4. ГОСТ 3811 – 72. Материалы текстильные, ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной, поверхностной плотности. – Введ. 1972 – 03 – 23. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1972. – 12 с.

5. ГОСТ 3812 – 72. Материалы текстильные, ткани и штучные изделия. Методы определения плотностей нитей и пучков ворса. – Введ. 1972 – 09 – 15. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1972. – 11 с.

6. ГОСТ 3813 – 72. Материалы текстильные, ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении. – Введ. 1971 – 12 – 23. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1972. – 14 с.

7. ГОСТ 12088 – 77. Методы текстильные и изделия из них. Методы определения воздухопроницаемости. – Введ. 1974 – 09 – 12. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1974. – 16 с.

8. Прибор для измерения электрического сопротивления текстильных полотен ИЭСТП-2 : паспорт ИЭСТП-2 00.000 ПС 1988. – 10 с.

9. ГОСТ 19616 – 74. Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления текстильных материалов. – Введ. 1974 – 08. – 27. – Москва : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1974. – 16 с.

10. Метод определения уровня напряженности электростатического поля текстильных материалов : СанПиН 9–29.7–95. – Введ. 1995 – 04 – 30. – Москва : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 12 с.

11. Костин, П. А. Комплексный анализ экранирующих свойств тканей специального назначения с комбинированными электропроводящими нитями / П. А. Костин, Е. Г. Замостоцкий //

Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2010. – Вып. 18. – С. 47-53.

12. Костин, П. А. Исследование экранирующей способности ткани специального назначения / П. А. Костин, Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган // Вестник учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». – 2009. – Вып. 16. – С. 40-44.

13. Костин, П. А. Исследование экранирующих свойств тканей специального назначения с комбинированными электропроводящими нитями различного состава / П. А. Костин, Е. Г. Замостоцкий // Тезисы докладов 43 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, 2010. – С. 126-127.

ГЛАВА 6

1. Авилочкина, Н. А. Исследование натяжения нитей основы и утка при изготовлении тканей из котонизированного льна / Н. А. Авилочкина // Тезисы докладов внутривуз. науч. конф., Москва, 30 янв., 2001 г. / Моск. гос. текстил. ун-т. – Москва, 2001. – С. 33–34.

2. Николаев, С. Д. Разработки систем автоматизированного проектирования технологического процесса ткачества / С. Д. Николаев // Изв. вузов. Технол. текстил. пром-сти. – 1999. – № 7–8. – С. 30–31.

3. Фирсов, А. В. Теоретические и прикладные аспекты разработки автоматизированных систем управления проектированием тканых полотен : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.19.02 / А. В. Фирсов ; Моск. гос. текстил. ун-т. – Москва, 2007. – 32 с.

4. Дружинская, О. И. Разработка автоматизированных методов построения заправочных рисунков тканей комбинированных переплетений : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / О. И. Дружинская ; Моск. гос. текстил. ун-т. – Москва, 2007. – 16 с.

5. Марцева, Н. Г. Программа построения переплетений на основе четырёхэлементного заправочного рисунка / Н. Г. Марцева, В. А. Марцева, В. П. Блинов // Текстиль. пром-сть. – 2002. – № 5. – С. 35.

6. Слостина, Г. Л. Разработка методики определения уработки нитей в гобеленовых тканях / Г. Л. Слостина, О. Ф. Ятченко // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль-98) : тезисы докладов Всерос. науч.-техн. конф. / Москов. гос. текстил. акад. – Москва, 1998. – С. 126–127.

7. Малецкая, С. В. Разработка автоматизированных методов проектирования узоров многоцветных тканей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / С. В. Малецкая ; Моск. гос. текстил. ун-т. – Москва, 2003. – 31 с.

8. Самутина, Н. Н. Технология чистольняных и полульняных костюмных тканей новых структур : автореф. дис. ... канд. техн. наук :

05.19.02 / Н. Н. Самутина ; Витебск. гос. технол. ун-т. – Витебск, 2012. – 26 с.

9. Бугаёва, Н. А. Разработка гобеленовых мебельных тканей оптимального строения с использованием современных информационных технологий : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Н. А. Бугаёва. – Витебск, 2002. – 240 л.

10. Milasius, V. The mathematical basis of ornamentation of patterned woven fabrics / V. Milasius, D. Neverauskiene, J. Katunskis, I. Kazlauskiene // *Fibres and Textile. East. Eur.* – 2002. – № 4. – С. 34–39.

11. Самутина, Н. Н. Компьютерное проектирование полутораслойных тканей / Н. Н. Самутина, Н. А. Абрамович, Г. В. Казарновская // *Вестник Витебского государственного технологического университета.* – 2008. – Вып. 14. – С. 86-91.

12. Казарновская, Г. В. Исследование и разработка методов построения и визуализации заправочного рисунка тканей с использованием современных информационных технологий / Г. В. Казарновская, Н. А. Абрамович, Н. Н. Самутина // *Вестник Витебского государственного технологического университета.* – 2011. – Вып. 20. – С. 72-77.

13. Казарновская, Г. В. Сборник научных трудов по ткачеству, посвященный 100-летию со дня рождения П. В. Власова. / МГТУ им. Косыгина; пред. ред. комиссии С. Д. Николаев. – Москва, 2011. – С. 211-218.

14. Самутина, Н. Н. Проектирование чистольняных и льносодержащих тканей новых структур / Н. Н. Самутина, Г. В. Казарновская // *Вестник Витебского государственного технологического университета.* – 2007. – Вып. 13. – С. 72-77.

15. Мартынова, А. А. Строение и проектирование тканей / А. А. Мартынова, Г. Л. Слостина, Н. А. Власова. – Москва : РИО МГТА, 1999. – 434 с.

16. Способ получения кромок полутораслойной ткани : пат. № 14688 Респ. Беларусь МПК (2006.01) D03D 5/00 / Н. Н. Самутина, Г. В. Казарновская; заявитель ВГТУ. – № а 20080912 ; заявл 10.07.2008 опубл. 30.08.2011 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці* / 2011. – № 4. – С. 110-111.

17. Самутина, Н. Н. Методика проектирования полутораслойных чистольняных костюмных тканей / Н. Н. Самутина, Г. В. Казарновская // *Материалы докладов LXIV науч.-техн. конф. преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ».* – Витебск, 2011. – С. 236-239.

18. Абрамович, Н. А. Использование ЭВМ для проектирования полутораслойных тканей / Н. А. Абрамович, Н. Н. Самутина, Г. В. Казарновская // *12 Всерос. науч.-инновац. конф. 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. 3-6.

19. Самутина, Н. Н. Применение информационных технологий при проектировании льняных тканей / Н. Н. Самутина, Н. А. Абрамович, Г. В. Казарновская // Качество товаров: теория и практика : материалы докладов Международной научно-практической конференции, Витебск, Беларусь, 15 – 16 ноября, 2012 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2012 – С. 238-240.

20. Казарновская, Г. В. Автоматизированное проектирование полутораслойных тканей / Г. В. Казарновская, Н. А. Абрамович, Н. Н. Самутина // Технологии и управление: проблемы, идеи, инновации : материалы международной научно-практической заочной конференции, 29 апреля 2013 г. / Филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского» в г. Твери. – Тверь, 2013. – С. 44-49.

21. Самутина, Н. Н. Разработка методов проектирования и визуализации заправочного рисунка тканей с использованием информационных технологий / Н. Н. Самутина, Н. А. Абрамович, Г. В. Казарновская // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс – 2013) : сборник материалов международной научно – технической конференции. Часть 1. – Иваново : Текстильный институт ФГБОУ ВПО «ИВГПУ», 2013. – С. 101-103.

ГЛАВА 7

1. Власенко, В. И. Возможности использования многослойных многофункциональных текстильных композитов / В. И. Власенко, С. И. Ковтун, Н. П. Березненко // Технический текстиль. – 2005. – № 12.

2. Иманкулова, А. С. Физико-механические свойства композита с тканой базальтовой основой / А. С. Иманкулова // Вопросы материаловедения. – С.-Петербург : ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей». – 2005. – № 3 (43). – С. 55-60.

3. Композиционные материалы : справочник / под ред. Д. М. Карпиноса. – Киев : Наукова думка, 1985. – 592 с.

4. Пинчук, Л. С. Материаловедение и конструкционные материалы / Л. С. Пинчук [и др.] ; под ред. В. А. Белого. – Минск : Вышэйшая школа, 1989. – 461 с.

5. Горчаков, Г. И. Строительные материалы / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – Москва : Стройиздат, 1986.

6. Новые материалы / под ред. Ю. С. Карабасова. – Москва : МИСИС, 2002. – 362 с.

7. Берлин, А. А. Принципы создания композиционных полимерных материалов / А. А. Берлин [и др.]. – Москва : Химия, 1990. – 240 с.

8. Струк, В. А. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях : учебно-справочное руководство / В. А. Струк [и др.]. – Долгопрудный : Интеллект, 2010. – 536 с.

9. Геллер, Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – Москва : Металлургия, 1975. – 448 с.

10. Березненко, Н. П. Возможности использования многослойных многофункциональных текстильных композитов / Н. П. Березненко, В. И. Власенко, С. И. Ковтун // Технический текстиль права [Электронный ресурс]. – 2005. – № 12. – Режим доступа: <http://rustm.net/catalog/article/82.html>. – Дата доступа: 20.02.2012.

11. Бершев, Е. Н. Физические основы технологии электрофлокирования : учеб. пособие / Е. Н. Бершев. – Ленинград : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 232 с.

12. Бершев, Е. Н. Электрофлокирование : монография / Е. Н. Бершев. – Москва : Легкая индустрия, 1977. – 300 с.

13. Иманкулова, А. С. Текстильные композиты / А. С. Иманкулова. – Бишкек : МОК, 2005. – 152 с.

14. Барабанов, Г. Л. Нетканые текстильные материалы, обзорная информация / Г. Л. Барабанов, Л. В. Кушнарева, И. Д. Яшвили. – Москва : ЦНИИТЭИлегпром, 1989. – С. 1–44.

15. Балашова, Т. Д. Основы химической технологии волокнистых материалов : учебное пособие / Т. Д. Балашова [и др.]. – Москва : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2005. – 363 с.

16. Мартынова, А. А. Строение и проектирование тканей / А. А. Мартынова, Г. Л. Слостина, Н. А. Власова. – Москва : РИО МГТА, 1999. – 434 с.

17. Гудок, Н. С. Изучение физических свойств пористых сред / Н. С. Гудок. – Москва : Недр А, 1970. – 209 с.

18. Воюцкий, С. С. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров / С. С. Воюцкий. – Москва : Химия, 1969. – 336 с.

19. Невских, В. В. Основы автоматизированного проектирования тканей : учебное пособие / В. В. Невских, Ж. Е. Тихонова. – Витебск : УО «ВГТУ», 2003. – 87 с.

20. Башметов, В. С. Технология и оборудование для подготовки нитей к ткачеству : учебник / В. С. Башметов, Т. П. Иванова, В. В. Невских. – Витебск : УО «ВГТУ», 2009. – 363 с.

21. Назарова, М. В. Теория процессов подготовки нитей к ткачеству : учеб. пособие / М. В. Назарова, В. Ю. Романов. – Волгоград : ВолгГТУ, 2006. – 68 с.

22. Савеко, С. Н. Технология и оборудование ткацкого производства : учебное пособие / С. Н. Савеко. – Моршанск : Федеральное агентство по образованию, ГОУ СПО Моршанский текстильный техникум, 2007. – 56 с.

23. Мартынова, А. А. Технология изготовления тканей: учебник для нач. проф. образования / А. А. Мартынова, О. Ф. Ятченко, А. В. Васильев. – Москва : Академия, 2007. – 304 с.

24. Браславский, В. А. Капиллярные процессы в текстильных материалах / В. А. Браславский. – Москва : Легпромбытиздат, 1987. – 112 с.

25. Ельцов, С. В. Физическая и коллоидная химия / С. В. Ельцов, Н. А. Водолазкая. – Харьков, 2005.

26. Лещенко, В. Г. Медицинская и биологическая физика : учебное пособие / В. Г. Лещенко, Г. К. Ильич. – Минск : Новое знание, 2012. – 552 с.

27. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия : учеб. для университетов и химико-технолог. вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 2004. – 445 с.

28. Базеко, В. В. Анализ структуры тканой основы композиционного материала / В. В. Базеко, Н. Н. Ясинская // Химические волокна. – Мытищи, 2014. – № 3. – С. 14-20.

29. Мурычева, В. В. К расчету параметрических коэффициентов строения при проектировании тканой основы композиционного текстильного материала / В. В. Мурычева, В. В. Невских // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. Периодический научный журнал Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – С.-Петербург, 2013. – № 3. – С. 46-49.

30. Базеко, В. В. Исследование физико-механических свойств тканей со специальными видами заключительной отделки / В. В. Базеко, Н. Н. Ясинская, А. Г. Коган // Вестник УО «ВГТУ». – Вып. 18. – С. 9-13.

ГЛАВА 8

1. Ванчаков, М. В. Технология и оборудование для переработки макулатуры : уч. пособие. ч. 1. / М. В. Ванчаков, А. В. Кулешов, Г. Н. Коновалова – Санкт-Петербург, 2011. – 101 с.

2. Ванчаков, М. В. Технология и оборудование для переработки макулатуры : уч. пособие. ч. 2. / М. В. Ванчаков, А. В. Кулешов, Г. Н. Коновалова. – Санкт-Петербург, 2011. – 86 с.

3. Иванов, С. Н. Технология бумаги : учебное пособие / С. Н. Иванов. – Москва, 2006. – 697 с.

4. Дулькин, Д. А. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги / Д. А. Дулькин, В. А. Спиридонов, В. И. Комаров. – Архангельск : Изд-во АГТ. – 2007. – С. 1118.

5. Комаров, В. И. Формирование свойств тест-лайнера в процессе производства / В. И. Комаров, Н. И. Яблочкин, Д. А. Дулькин, И. Н. Ковернинский. – Архангельск : Изд-во АГТУ, 2005. – С. 162.

6. Кулаженко, Е. Л. Перспективы применения отходов текстильной промышленности / Е. Л. Кулаженко, Н. Н. Ясинская, А. Г. Коган // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс – 2008) : сборник материалов международной научно-технической конференции. Часть 1 / Ивановская государственная текстильная академия ; редкол. : Г. И. Чистобородов [и др.]. – Иваново : ИГТА, 2008. – С. 16-17.

7. Кулаженко, Е. Л. Перспективы применения отходов текстильной промышленности / Е. Л. Кулаженко, Н. Н. Ясинская, А. Г. Коган // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс – 2008) : сборник материалов международной научно-технической конференции. Часть 1 / Ивановская государственная текстильная академия ; редкол. : Г. И. Чистобородов [и др.]. – Иваново : ИГТА, 2008. – С. 16-17.

8. Гаврилов, К. А. Исследование дисковых фрикционных ножниц и возможности применения их для разрезания штучных тканых изделий : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Спец. 05.02.13 «Машины и агрегаты легкой промышленности» / К. А. Гаврилов ; Ленинградский институт текстильной и легкой промышленности имени С. М. Кирова. – Ленинград, 1974. – 28 с.

9. Бобров, В. Ф. Резание металлов самовращающимися резцами / В. Ф. Бобров, Д. Е. Иерусалимский. – Москва : Машиностроение, 1972. – 112 с.

10. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – Москва : Машиностроение, 1975. – 344 с.

ГЛАВА 9

1. Li, X. B., Larson, S. D., Zyuzin, A. S., Mamishev, A. V. Design Principles for Multichannel Fringing Electric Field Sensors / X. B. Li [и др.] //Sensors Journal, IEEE. – 2006. – V.6, № 2. – P.434-440.

2. Иоссель, Ю. Я. Расчет электрической емкости / Ю. Я. Иоссель, Э. С. Качанов, М. Г. Струнский. – Ленинград : Энергия, 1960. – 240 с.

3. Джежора, А. А. Электроемкостные преобразователи и методы их расчета / А. А. Джежора. – Минск : Белорусская наука. – 2008. – 305 с.

4. Матис, И. Г. Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля / И. Г. Матис. – 2-е изд. – Рига : Зинатне, 1982. – 304 с.

5. Li, X. J., de Jong, G., Meijer, G. C. M. The Application of the Capacitor's Physics to Optimize Capacitive Angular-Position Sensors / X. J. Li, G. de Jong, G. C. M. Meijer // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 1997. V. 46, № 1. – P. 8-14.

6. S. Gevorgian, T. Martinsson, P. L. J. Linner, and E. L. Kollberg. CAD Models for Multilayered Substrate Interdigital Capacitors / S. Gevorgian [и др.] // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – June 1996. – V. 44, № 6. – P. 896-904.

7. Igreja, R., Dias, C. J. Analytical Evaluation of the Interdigital Electrodes Capacitance for a Multi-Layered Structure / R. Igreja, C. J. Dias // Sensors and Actuators A-Physical. – 2004. – V.112. – № 2-3. – P.291-301.

8. M. Zahn, Electromagnetic Field Theory: A Problem Solving Approach. Malabar, FL: Krieger, 2003. – 723 p.

9. Сочнев, А. Я. О классе плоскомеридианальных полей, идентичных по геометрической структуре плоскопараллельным полям / А. Я. Сочнев // Электричество. – 1966. – № 10. – С. 48–52.

10. Zaretsky, M. C., Li, P., Melcher, J. R. Estimation of thickness, complex bulk permittivity and surface conductivity using interdigital dielectrometry / M. C. Zaretsky, P. Li. and J. R. Melcher // IEEE Transactions on Electrical Insulation. – Dec. 1989. – V. 24. – P. 1159-1166.

11. Sheiretov, Y. K. and Zahn, M. Dielectrometry measurements of moisture dynamics in oil-impregnated pressboard / Y. K. Sheiretov and M. Zahn // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – June 1995. – V.2. – P. 329-351.

12. Zaretsky, M. C., Mouayad, L., Melcher, J. R. Continuum properties from in-terdigital electrode dielectrometry / M. C. Zaretsky, L. Mouayad, J. R. Melcher // IEEE Transactions on Electrical Insulation. – Dec. 1988. – V. 23. – P. 897-917.

13. Zaretsky, M. C. Parameter Estimation Using Microdielectrometry with Application to Transformer Monitoring / M. C. Zaretsky // Ph. D. Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1987.

14. P. A. von Guggenberg, Application of interdigital dielectrometry to moisture and double laver measurements in transformer insulation, Ph. D. dissertation, Dept. Elect. Eng. Comput. Sci., Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, 1993. – 264 p.

15. Курбатов, В. М. Емкость конденсатора с электродами гребенчатой формы / В. М. Курбатов, Ю. П. Пресняков // Электричество. – 1975. – № 6. – С. 84–86.

16. Mamishev, A. V., Lesieutre, B. C., Zahn, M. Optimization of Multi-Wavelength Interdigital Dielectrometry Instrumentation and Algorithms / A. V. Mamishev, B. C. Lesieutre, M. Zahn // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 1998. – P. 408-420.

17. Li, X. B., Larson, S. D., Zyuzin, A. S., Mamishev, A. V. Design Principles for Multichannel Fringing Electric Field Sensors / X. B. Li, S. D. Larson, S. D. Zyuzin, A. S. Mamishev, A. V. Design // Sensors Journal, IEEE. – 2006. – V. 6. – № 2. – P. 434-440.

18. Zaretsky, M. C., Mouayad, L., Melcher, J. R. Continuum properties from in-terdigital electrode dielectrometry / M. C. Zaretsky, L. Mouayad, J. R. Melcher // IEEE Transactions on Electrical Insulation. – Dec. 1988. – V. 23. – P. 897-917.

19. Khan, S. H., Abdullah, F. Finite-Element Modeling of Multielectrode Capacitive Systems for Flow Imaging / S. H. Khan, F. Abdullah // IEEE Proceedings-G Circuits Devices and Systems. – 1993. – V. 140. – № 3. – P. 216-222.

20. Лунин, В. П. Развитие теории и создание высокоэффективных программно-алгоритмических средств электромагнитной дефектоскопии оборудования атомной энергетики : автореф. дис. ... д-ра техн наук : 05.11.13 / В. П. Лунин ; Москва, 2010. – 38 с.

21. Иванов, А. В. Применение метода граничных интегральных уравнений при моделировании формирования и динамики в установках электронного охлаждения / А. В. Иванов, М. А. Тиунов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия : Физика. – 2008. – Том 3, выпуск 1. – С. 56-61.

22. Тарчуткин, А. Л. Использование метода интегральных уравнений для снижения размерности конечно-элементной задачи электростатического поля / А. Л. Тарчуткин, М. В. Остренко // Электротехника та електроенергетика. – 2009. – № 2. – С. 61-64.

23. Ильин, В. П. Численные методы решения задач электрофизики / В. П. Ильин. – Москва : Наука, 1985. – 336 с.

24. Mamishev, A. V., Lesieutre, B. C., Zahn, M. Optimization of Multi-Wavelength Interdigital Dielectrometry Instrumentation and Algorithms / A. V. Mamishev, B. C. Lesieutre, M. Zahn // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 1998. – P. 408-420.

25. Li, X. Instrumentation and Inverse Problem Solving for Impedance Imaging Ph.D. Department of Electrical Engineering University of Washington Graduate School, 20060146. Robert B. McIntosh and Mark E. Casada. Fringing field capacitance sensors for measuring the moisture

content of agricultural commodities // IEEE Sensors Journal. – March, 2006. – V. 8. – № 3. – P. 240-247.

26. Sheiretov, Y., Zahn, M. Modeling of Spatially Periodic Dielectric Sensors in the Presence of a Top Ground Plane Bounding the Test Dielectric / Y. Sheiretov, M. Zahn // IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. – 2005. – V. 12. – № 5. – P. 993–1004.

27. Джежора, А. А. Краевой эффект на торцах электродов при контроле ортотропных сред / А. А. Джежора, А. М. Наumenко // Дефектоскопия – Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2014. – № 3. – С. 50–56.

28. Джежора, А. А. Методы и средства электромагнитного контроля анизотропных материалов на основе зеркально-симметричных схем преобразователей : автореф. дис. ... д-ра техн наук : 05.11.13 / А. А. Джежора ; Москва, 2013. – 45 с.

29. 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.

30. Способ определения структурной влаги в материалах с ортогональной анизотропией : а. с. 1778661 СССР, МКИ5 G 01 R 27/26 / А. А. Джежора ; заявитель Витебский тех. инстит. легк. пром. – № 4878623/25 ; заявл. 29.10.90 ; опубл. 30.11.92 // Открытия. Изобретения. – 1992. – № 44. – С. 22.

31. Ройфе, В. С. Исследование влияния диэлектрических потерь на точность определения влажности строительных материалов. Некоторые вопросы связи электрических характеристик строительных материалов с их физико-химическими свойствами в электрических полях высокой частоты / В. С. Ройфе // Применение достижений современной физики в строительстве. – Москва : Стройиздат, 1967. – 85 с.

32. Ройфе, В. С. Методика градуирования диэлькометрических влагомеров с использованием многомерной математической модели / В. С. Ройфе // Измерительная техника. – 1984. – № 11. – С. 61-62.

33. Джежора, А. А. Диэлькометрический метод определения влажности волокон / А. А. Джежора // Заводская лаборатория. – 2010. – Т. 76. – № 9. – С. 44 – 48.

34. Радовицкий, В. П. Электродинамика текстильных волокон (Поведение волокон в электрических полях) / В. П. Радовицкий, Б. Н. Стрельцов. – Москва : Легкая индустрия, 1967. – 253 с.

35. Джежора, А. А. Диэлькометрия ортотропных материалов текстильной промышленности / А. А. Джежора, А. М. Наumenко // [Дефектоскопия. – 2011]. – Т. 47. – № 12. – С. 67 – 76.

36. Джежора, А. А. Математическая модель электроемкостного датчика контроля анизотропии физических свойств / А. А. Джежора, В. В. Рубаник // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления : материалы ХУІ междунар. науч.-техн. конф., Судак, май 2004 г. – Судак, 2004. – С. 91 - 92.

37. Джежора, А. А. Электроемкостный метод исследования структуры линейно-протяженных полимерных материалов / А. А. Джежора, В. В. Рубаник // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы ХУ междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20 – 22 окт. 2004 г. / Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2004. – С. 97-98.

38. Styra Darius. Electrical capacitance measurement in multielectrode systems: Summary of Doctoral Dissertation Technological Sciences, Measurement Engineering, Kaunas University of Technology. – Kaunas, 2008. – 29 p.

39. Джежора, А. А. Прогнозирование прочностных свойств линейно-протяженных полимерных материалов / А. А. Джежора, В. В. Рубаник // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы ХУ междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20 – 22 окт. 2004 г. / Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2004. – С. 99-100.

40. Джежора, А. А. Электроемкостный метод исследования структуры линейно-протяженных полимерных материалов / А. А. Джежора, В. В. Рубаник // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: материалы ХУ междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20 – 22 окт. 2004 г. / Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2004. – С. 97-98.

41. Наumenко, А. М. Диэлькометрический метод оценки распрямленности волокон / А. М. Наumenко // 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.

42. 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.

43. Науменко, А. М. Технология льносодержащей пряжи пневмомеханического способа формирования : автореф. дис. ... канд. техн наук : 05.19.02 / А. М. Науменко ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – 30 с.

ГЛАВА 10

1. Вайлунова, Ю. Г. Сетевые формы интеграции как направление повышения конкурентоспособности текстильной и швейной промышленности / Ю. Г. Вайлунова // Вестник Полоцкого государственного университета. Секция Д, Экономические и юридические науки. Экономика и управление. – 2014. – № 5. – С. 38–45.

2. Вайлунова, Ю. Г. Обоснование направлений повышения конкурентоспособности текстильного и швейного производства в Беларуси на основе развития концепции цепочки ценностей / Ю. Г. Вайлунова // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2015. – № 28. – С. 162–173.

3. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы: Постановление Совета Министров Республики Беларусь 11 марта 2016 г. № 196 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gomel-fermer.by/download/razvitie_2016-2020.pdf. – Дата доступа: 20.05.2016.

4. Зиновский, В. И. Статистический ежегодник Республики Беларусь. Статистический сборник Республики Беларусь / редкол.: В. И. Зиновский [и др.]. – Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2014. – 534 с.

5. Зиновский, В. И. Наука и инновационная деятельность в Республике Беларусь, Статистический сборник / В. И. Зиновский [и др.]. – Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2014. – 121 с.

6. Клейнер, Б. Г. Эволюция институциональных систем / Б. Г. Клейнер. – Москва : Наука, 2004. – 240 с.

7. Крупский, Д. М. Об условиях и возможностях формирования и развития промышленных кластеров в Республике Беларусь / Д. М. Крупский // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: economy.gov.by/nfiles/001146_914457_Klaster.pptx. – Дата доступа: 30.08.2015.

8. Кузык, М. Г. Совершенствование механизмов формирования интегрированных структур с участием государства / М. Г. Кузык. – Москва, 2004. – 179 с.

9. Лён Беларуси – 2014. Республиканское унитарное предприятие «Белорусский научно-исследовательский институт льна» [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <http://institut-lna.by/index.php/novosti/109-ljon-belarusi-2>. – Дата доступа: 20.08.2015.

10. Медведева, И. В. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник Республики Беларусь / редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2015. – 318 с.

11. Медведева, И. В. Промышленность Республики Беларусь. Статистический сборник / редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2015. – 268 с.

12. Медведева, И. В. Наука и инновационная деятельность в Республике Беларусь. Статистический сборник / И. В. Медведева [и др.]. – Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2015. – 138 с.

13. Мовсесян, А. Г. Интеграция банковского и промышленного капитала / А. Г. Мовсесян. – Москва : Финансы и статистика, 1997. – 444 с.

14. О внесении дополнений и изменений в указы Президента Республики Беларусь по вопросам холдингов и иных объединений юридических лиц : Указ Президента Республики Беларусь, 20 июня 2014 г., № 287 / Нац. правовой интернет портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск, 2014. – Режим доступа: <http://naviny.org/2014/06/20/by2375.htm>. – Дата доступа: 20.05.2016.

15. О некоторых вопросах создания и деятельности холдингов в Республике Беларусь : Указ Президента Республики Беларусь, 28 декабря 2009 г., № 660 / Нац. правовой интернет портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск, 2009. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=P30900660>. – Дата доступа: 20.05.2016.

16. Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 005-2006 «Виды экономической деятельности» (ОКЭД) / Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск, 2006. – Режим доступа: http://belstat.gov.by/klassifikatory/obschegosudarstvennye-klassifikatory-respubliki-belarus-ispolzuemye-dlya-zapolneniya-gosudarstvennoi-statisticheskoi-otchetnosti/obschegosudarstvennyi-klassifikator-okrb-005-20_2/. – Дата доступа: 30.11.2012.

17. Открытое акционерное общество «Витебскобллён» [Электронный ресурс] / Официальный сайт ОАО «Витебскобллён». – Витебск. – Режим доступа: <http://www.vitobllen.vitebsk.by/main.html>. – Дата доступа: 25.03.2015.

18. Портер, М. Конкуренция : пер. с англ. / М. Портер. – Москва : Вильямс, 2002. – 496 с.

19. Программа развития легкой промышленности в 2016 – 2020 годах (утверждена Советом концерна «Беллегпром» № 1 от 26 февраля 2016 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bellegprom.by/tenders/ca8c4d55dbfc2d39.html>. – Дата доступа: 20.05.2016.

20. Проект Стратегии устойчивого развития Витебской области на 2016 – 2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docviewer.yandex.by/?url=ya-serp%3A%2F%2Fregdev.by%2Fru%2Fdownload%2Ffile%2Ffid%2F138&name=138&c=5614ecd7fd74>. – Дата доступа: 30.09.2015.

21. Якутин, Ю. Корпоративные структуры: вариант типологизации и принципы анализа эффективности / Ю. Якутин // РЭЖ. – 1998. – № 4. – С. 28–34.

22. Яшева, Г. А. Кластерный подход в повышении конкурентоспособности предприятий / Г. А. Яшева. – Витебск : УО «ВГТУ», 2007. – 301 с.

23. Яшева, Г. А. Кластерная концепция повышения конкурентоспособности предприятий в контексте сетевого сотрудничества и государственно-частного партнерства : монография / Г. А. Яшева. – Витебск : УО «ВГТУ», 2010. – 373 с.

24. Яшева, Г. А. Обоснование кластерного подхода к повышению эффективности регионального производства / Г.А. Яшева // Вестник Витебского государственного технологического университета». – 2012. – № 23. – С. 171-181.

25. Яшева, Г. А. Кластерная стратегия инновационного развития экономик России и Беларуси / Г. А. Яшева, В. А. Кунин // Управление экономическими системами : электронный научный журнал. – 2014 – № (62) УЭК, 2/2014 – ISSN онлайн-версии 1999-4516. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа к журн.: <http://uecs.ru/index>.

Научное издание

Абрамович Наталья Анатольевна
Акиндинова Наталья Станиславовна
Бизюк Андрей Николаевич
Вайлунова Юлия Геннадьевна
Дементьева Елена Сергеевна
Джежора Александр Александрович
Дягилев Андрей Степанович
Зими́на Елена Леонидовна
Иваненков Дмитрий Анатольевич
Казарновская Галина Васильевна
Катович Оксана Михайловна
Коган Александр Григорьевич
Костин Павел Андреевич
Медвецкий Сергей Сергеевич
Мурычева Виктория Владимировна
Надежная Наталья Леонидовна
Науменко Андрей Михайлович
Самутина Наталья Николаевна
Яшева Галина Артемовна

ИННОВАЦИИ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Монография

Редакторы *Е.В. Ванкевич, А.Г. Коган*
Технические редакторы *О.М. Катович, Н.Н. Самутина*
Корректор *Е.М. Богачёва*
Компьютерная верстка *Н.Н. Самутина, О.М. Катович*

Подписано в печать 03.11.16. Формат 60х90 1/16. Печать
ризографическая. Уч.-изд. л. 13,8. Усл. печ. л. 6,9. Тираж 43 экз.
Заказ 349.

Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет» 210035, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский
государственный технологический университет»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.