

*Левина*

**КОЖЕВНИКОВА ЛЮБОВЬ ВЛАДИМИРОВНА**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР  
ОДНОСЛОЙНЫХ ТКАНЕЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
ИХ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ**

05.19.02 – Технология и первичная обработка  
текстильных материалов и сырья

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иваново – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» (ФГБОУ ВО «ИВГПУ») на кафедре технологии и проектирования текстильных изделий Текстильного института.

Научный руководитель: **Карева Татьяна Юрьевна**,  
доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой технологии и проектирования  
текстильных изделий ФГБОУ ВО «ИВГПУ»

Официальные оппоненты: **Юхин Сергей Семенович**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой проектирования и художе-  
ственного оформления текстильных изделий  
ФГБОУ ВО «Российский государственный уни-  
верситет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн.  
Искусство)», г. Москва

**Назарова Маргарита Владимировна**,  
доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой технологии текстильного  
производства ФГБОУ ВО «Волгоградский госу-  
дарственный технический университет», Камы-  
шинский технологический институт, г. Камышин  
Волгоградской области

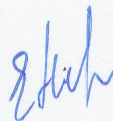
Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»**, г. Кострома

Защита состоится 14 декабря 2017 года в 10 часов на заседании диссер-  
тационного совета Д 212.355.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государст-  
венный политехнический университет» по адресу: 153000, г. Иваново,  
Шереметевский проспект, 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ  
ВО «Ивановский государственный политехнический университет»:  
[www.ivgpu.com](http://www.ivgpu.com).

Автореферат разослан «      »      2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.355.02  
доктор технических наук, профессор



Е.Н. Никифорова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы** заключается в разработке рациональных структур однослойных тканей, методик их проектирования, прогнозировании их физико-механических свойств с целью импортозамещения в секторе производства конкурентоспособной отечественной продукции текстильной отрасли.

Ассортимент продукции, выпускаемой легкой промышленностью в России, достаточно широк – это хлопчатобумажные, льняные, шерстяные и шелковые ткани, нетканые материалы, а также швейные, трикотажные, чулочно-носочные и ковровые изделия, обувь и другая продукция. Большим спросом сегодня пользуются ткани новых структур, которые при одном и том же расходе сырья по сравнению с обычными тканями имеют лучшие качественные показатели. Поэтому задача создания новых инновационных тканей, в том числе и трехосных, разработка методик проектирования структур и параметров строения и технологий их изготовления является актуальной. Обеспечение конкурентоспособности отечественной продукции связано с техническим переоснащением предприятий, освоением новых технологий и разработкой инновационных текстильных изделий с улучшенными эстетическими, потребительскими и физико-механическими свойствами.

Как отмечается в Стратегии развития Ивановской области до 2020 года, для перевода текстильной отрасли на новый уровень и создания новых технологий производства текстильных материалов должны быть налажены тесные связи между наукой и промышленностью и внедрены инновационные разработки в области проектирования текстильных изделий и энерго- и материалосберегающих технологий их изготовления в условиях стабильного протекания процесса их формирования.

### **Степень научной разработанности темы**

Представленная работа является продолжением научных направлений, связанных с теоретическим обоснованием возможности формирования и особенностей проектирования тканей с заданными свойствами и структурой, исследованием напряженности выработки ткани на ткацком станке, которыми занимались многие известные ученые-текстильщики: Н.Г. Новиков, К.Г. Алексеев, Г.Б. Дамянов, Д.Е. Ефремов, О.С. Кутепов, С.Д. Николаев, Г.И. Селиванов, В.А. Сеницын, В.П. Склянный, Г.В. Степанов, Н.Х. Уразов, С.С. Юхин и другие. Однако все исследования касались в основном тканей ортогонального строения плоской структуры, что подтверждает актуальность данного научного исследования.

**Целью исследования** является разработка рациональных структур однослойных тканей и методик их проектирования, а также сравнительное исследование физико-механических свойств тканей ортогонального и не ортогонального строения.

Для достижения поставленной цели диссертационной работы необходимо было решить следующие **научно-исследовательские и практические задачи**:

1. Разработать рациональную структуру однослойной ткани с улучшенными и равными в разных направлениях физико-механическими свойствами.

2. Предложить выражения для прогнозирования разрывных нагрузок для разработанных новых структур тканей и тканей ортогонального строения.

3. Исследовать физико-механические свойства и параметры строения одного и того же артикула ткани, выработанной на различных типах зарубежного и отечественного ткацкого оборудования, с целью выявления более совершенного с точки зрения постоянства физико-механических свойств и стабильности параметров строения ткани как по длине, так и по ширине.

4. Предложить аналитическое неравенство для определения возможной величины разницы между разноурбатываемыми нитями основы, выполнение которого обеспечит стабильность процесса формирования ткани.

5. Предложить аналитические выражения для прогнозирования материалоемкости (уработки нитей в ткани) по заданным технологическим параметрам, которые являлись бы простым инструментом при проектировании ткани.

6. Разработать методики подбора переплетения в продольных полосах ткани, а также в кромке ткани, усиленной по основе или закладной, учитывающие возможные варианты переплетения продольных полос, фона и кромки ткани, применение которых обеспечит проектирование технологичных тканей рациональных структур.

**Научная новизна работы** заключается в разработке методик проектирования рациональных структур однослойных тканей, параметров их строения, а также физико-механических свойств тканей ортогонального и не ортогонального строения с условием их технологичности.

Впервые получены следующие научные результаты:

- разработаны структуры трехосных тканей с самоформирующимися кромками, в которых нити основы как переплетаются с нитями утка, так и взаимодействуют между собой по всей ширине ткани;

- предложены выражения для расчета раппортов разработанных трехосных тканей;

- получены теоретические выражения для прогнозирования разрывных нагрузок по основе и по утку для разработанных структур триаксиальных тканей и тканей ортогонального строения;

- предложены аналитические неравенства для определения возможной величины разницы между уработками нитей основы в продольных полосах ткани, основных нитей в фоне и в кромке ткани, выполнение которых позволяет прогнозировать технологичность ткани, т.е. стабильность процесса формирования ткани с использованием разноурбатываемых нитей основы;

- предложены выражения для прогнозирования материалоемкости, а именно теоретических уработок фоновых и кромочных нитей основы, основных нитей в продольных полосах ткани и нитей утка, по известным технологическим параметрам заправки ткани на ткацком станке;

- предложены выражения для прогнозирования коэффициентов наполнения ткани волокнистым материалом по основе в фоне и в кромке ткани, усиленной по основе или закладной, в продольных полосах;

- разработаны методики подбора переплетений в продольных полосах ткани, в кромке ткани, усиленной по основе или закладной, учитывающие

возможные варианты переплетения продольных полос, фона и кромки ткани, применение которых обеспечит проектирование технологичных тканей рациональных структур;

– разработана методика сравнительного анализа значений уработок основных и уточных нитей, определяемых геометрическим методом и методом упругих параметров нелинейной теории изгиба упругих стержней.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в получении аналитических выражений для прогнозирования разрывных нагрузок по основе и по утку для тканей ортогонального и не ортогонального строения, уработок, коэффициентов наполнения ткани волокнистым материалом однослойных тканей ортогонального строения; в разработке методик подбора переплетений в продольных полосах ткани и кромке, усиленной по основе или закладной, применение которых обеспечит проектирование технологичных тканей рациональных структур.

**Практическая значимость результатов работы** заключается в разработке новых структур трехосных тканей с самоформирующимися неосыпаемыми кромками, сравнительном исследовании физико-механических свойств тканых образцов новой структуры триаксиальной ткани и ткани ортогонального строения полотняного переплетения при условии равного материаловложения, подтвердившем улучшение физико-механических свойств тканей трехосного строения по сравнению с тканями ортогонального; исследовании свойств однослойных тканей по ширине и длине, выработанных на разных типах ткацкого оборудования. Разработаны и внедрены в ткацкое производство программы в среде Microsoft Office Excel для автоматизированного подбора переплетений в продольных полосах ткани, в кромке ткани, усиленной по основе или закладной, учитывающие возможные варианты переплетений полос, фона и кромки ткани, обеспечивающие стабильность протекания процесса ткачества; создана программа в среде Microsoft Office Excel для определения упругих параметров осевой линии изгиба нитей в ткани, сил нормального давления, уточнения жесткостных характеристик пряжи, позволяющая определять основные параметры строения однослойной ткани.

Полученные научные и технологические разработки автора внедрены в учебный процесс Текстильного института Ивановского государственного политехнического университета, включены в теоретический и лабораторный курсы дисциплин направления подготовки бакалавров 29.03.02 *Технологии и проектирование текстильных изделий*, магистров направления 29.04.02 *Технологии и проектирование текстильных изделий* и подготовки аспирантов по направлению 29.06.01 *Технологии легкой промышленности*, направленности *Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья*.

#### **Методология и методы диссертационного исследования**

Методологической основой исследований являются труды отечественных и зарубежных ученых в области проектирования и технологии изготовления тканых полотен рациональных структур. В работе использован комплекс существующих базовых методов теоретического и экспериментального исследований, в том числе методы системного анализа, аналитической гео-

метрии, прикладной математики и метод упругих параметров нелинейной теории изгиба упругих стержней, а также методы математической статистики, методы натурального эксперимента, органолептический, метод прямых и косвенных контактов, стандартные методы и средства исследования текстильных материалов. Обработка результатов исследований проводилась с помощью разработанных программ в электронных таблицах Microsoft Office Excel. Исследование свойств тканей осуществлялась на поверенном испытательном оборудовании.

**Объектами исследований** являлись однослойные ткани ортогонального и не ортогонального строения, их структуры и методы проектирования параметров строения.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Структуры трехосных тканей с самоформирующимися кромками, в которых нити основы как переплетаются с нитями утка, так и взаимодействуют между собой по всей ширине ткани, что приводит к увеличению связей нитей между собой внутри тканого полотна и соответственно к улучшению его физико-механических свойств.

2. Выражения для расчета раппортов разработанных трехосных тканей, учитывающие коэффициент шага, который определяет количество перемещений ремизки в горизонтальной плоскости при данной уточной прокидке и влияет на количество взаимодействий нитей между собой по ширине тканого полотна.

3. Теоретические выражения для прогнозирования разрывных нагрузок по основе и по утку для тканей ортогонального строения и для разработанных триаксиальных тканей, учитывающие плотности ткани по основе и по утку, линейные плотности нитей, их физико-механические свойства, что позволяет проектировать ткани с заданными свойствами.

4. Результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств тканых образцов полотняного переплетения и разработанной триаксиальной ткани новой структуры, позволяющие подтвердить более высокие показатели физико-механических свойств у тканей трехосного строения по сравнению с тканями ортогонального строения при равной материалоемкости.

5. Методики подбора переплетения в полосах ткани с продольными полосами и в кромках ткани, вырабатываемой на ткацком станке с закладной кромкой или с кромкой, усиленной по основе, учитывающие возможные варианты переплетения полос, фона и кромки ткани, использование которых обеспечит проектирование технологичных тканей рациональных структур.

6. Программы, разработанные в среде Microsoft Office Excel, для автоматизированного подбора переплетений в продольных полосах ткани, в закладной кромке или усиленной по основе.

7. Аналитические выражения для прогнозирования уработок уточных нитей, фоновых и кромочных нитей основы, основных нитей в продольных полосах ткани, т.е. материалоемкости, по известным технологическим параметрам заправки ткани на ткацком станке и аналитические неравенства для определения возможной величины разницы между уработками: нитей основы

в продольных полосах ткани и основных нитей в фоне и в кромках ткани, выполнение которых позволяет обеспечить стабильное протекание технологического процесса их формирования с использованием разноуровневыми нитей основы.

### **Степень достоверности и апробация результатов исследования**

Достоверность экспериментальных и теоретических результатов исследования обеспечивалась корректным использованием положений метрологии для прямых и косвенных измерений, обоснованным объемом выборок, применением методов математической статистики. Для экспериментальных исследований использовалось поверенное испытательное оборудование, лицензионные программные продукты. Теоретические исследования построены на известных, проверяемых данных и согласуются с ранее опубликованными результатами по совершенствованию процесса формирования однослойных тканей и методов проектирования параметров их строения.

Основные положения и результаты диссертационной работы были доложены, обсуждены и получили положительную оценку:

- на XIX Международном научно-практическом форуме «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016)», Иваново, ИВГПУ, 2016 г.;

- межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск)», Иваново, ИВГПУ, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015, 2017 гг. (до 22.04.2013 – ФГБОУ ВПО «Ивановская государственная текстильная академия»);

- всероссийской научной студенческой конференции «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2016)», Москва, МГУДТ, 2016 г.;

- международной научно-практической конференции «Моделирование в технике и экономике», Витебск, ВГТУ, 2016 г.;

- международной научно-технической конференции «Интеллектуальный потенциал – источник возрождения текстильной промышленности», Шахты, ЮРГУЭС, 2010 г.

**Публикации.** Всего по материалам диссертации опубликована 21 работа, в их числе три статьи в журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук» и 18 публикаций в материалах и тезисах научно-технических конференциях различного уровня.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованной литературы. Диссертационная работа содержит 186 страниц основного текста, 37 рисунков, 5 таблиц и 8 приложений.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение:** обоснована актуальность темы диссертационной работы, указана научная новизна, практическая ценность, изложены основные положения

ния, выносимые на защиту.

**В первой главе** в соответствии с темой настоящего исследования изучены работы отечественных и зарубежных ученых по следующим направлениям: аналитический обзор литературы по строению и изготовлению тканей ортогонального и не ортогонального строения, напряженно-деформированному состоянию нитей и особенностям формирования тканей на ткацком станке. Как показал анализ литературных источников, в основном эти исследования касаются тканей ортогонального строения, причем практически отсутствуют исследования по особенностям формирования кромки ткани. Следует отметить, что в практике теоретического определения уработки нитей учеными, как правило, учитывается только плотность противоположной системы нитей, что является не совсем корректным и требует уточнений.

На протяжении последних 50 лет в основном западными учеными предложены разнообразные структуры трехосных материалов, как тканых, так и плетеных, с различными вариантами вложения нитей и их взаимного расположения с целью формирования материала с одинаковыми свойствами во всех направлениях и организацией ячейки заданной формы и размеров. При этом практически отсутствуют сравнительные исследования физико-механических свойств тканей ортогонального и не ортогонального строения при условии одинакового вложения сырья и не раскрыта причина улучшения физико-механических свойств, а также не рассмотрены вопросы получения изотропной трехосной ткани с самоформирующейся кромкой на ткацком станке.

Таким образом, на основании анализа литературных источников по рассматриваемой проблеме была сформулирована цель диссертационной работы и ее задачи, намечены пути теоретической проработки темы исследования и дано практическое обоснование использования полученных результатов по данному направлению.

**Вторая глава** посвящена разработке новых структур трехосных тканей и изучению причин улучшения физико-механических свойств предложенных структур в сравнении с тканями ортогонального строения одинакового переплетения и материаловложения. В связи с политикой санкций, применяемой западными странами в отношении России, и недоступностью по этой причине для нашей страны всех инновационных разработок, касающихся тканей новых структур, в том числе трехосных, а также технологического оборудования для их производства, назрела необходимость в разработке трехосной ткани новой структуры, которая выполняла бы задачу импортозамещения зарубежной продукции.

На рисунке 1 представлены разработанные новые структуры трехосных тканей базового полотняного переплетения с раппортом по основе 6 нитей, а по утку – 12 и 24 нити (рисунок 1, а и 1, б соответственно).

В представленных структурах (см. рисунок 1) ткань организуется как за счет переплетения нитей основы с нитями утка, так и за счет взаимодействия нитей основы между собой по всей ширине тканого полотна, что увеличивает прочность ткани и снижает раздвигаемость нитей в полотне, этим достигается равномерное распределение всех нитей в ткани.



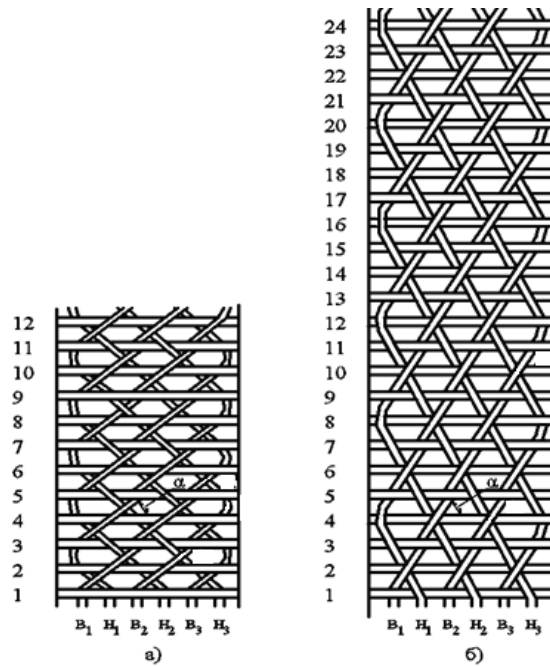


Рисунок 1 – Разработанные структуры трехосных тканей:  
а) с раппортом по утку 12 нитей; б) с раппортом по утку 24 нити

Отличительной особенностью предложенных структур тканей является перемещение нитей основы в пределах раппорта по утку с одного края ткацкого станка до другого. При этом основные нити изменяют свою принадлежность к системе нитей, с условно верхней на условно нижнюю и наоборот, при обратном ходе. Это позволяет вырабатывать трехосную ткань с неосыпаемой самоформирующейся кромкой, что не требует дополнительного увеличения плотности в кромках ввиду высокой сопротивляемости раздвиганию и неосыпаемости края ткани. Кроме того особенностью данных структур является возможность получения тканой ленты и ткани на всю ширину ткацкого станка, в которых уточные нити располагаются на равном расстоянии друг от друга, что является одним из требований, предъявляемых к техническим тканям и трехосным полотнам, предназначенным для специального использования в различных отраслях промышленности. При определенных условиях представленные структуры тканей обладают одинаковыми физико-механическими свойствами ткани в разных направлениях. Для этого необходимо обеспечить постоянство угла  $\alpha$  наклона нитей основы по отношению к уточным нитям, равного  $60^\circ$  (см. рисунок 1).

Раппорты переплетений по основе и по утку разработанных триаксиальных тканей, представленных на рисунке 1, рассчитывают по следующим формулам:

$$R_o = M_o, R_y = \frac{4R_o}{k_\ell}, \quad (1)$$

где  $M_o$  – количество основных нитей;  $k_\ell$  – коэффициент шага.

Для переплетения, представленного на рисунке 1, а,  $k_\ell = 1$ , а для переплетения, изображенного на рисунке 1, б,  $k_\ell = 2$ . При перемещении систем нитей основы на величину шага  $\ell$ , большую двух ( $\ell = 100/P_o$ , мм), т.е. от трех и более, происходит значительное увеличение угла наклона основных нитей к уточным. Таким образом, при большей величине шага обеспечить изотропность свойств получаемого тканого полотна будет невозможно по причине невыполнения требования поддержания угла наклона нитей основы к уточным нитям, равного  $60^\circ$ . В связи с этим из дальнейших исследований такие варианты трехосных тканей были исключены.

Получены выражения для прогнозирования проектируемых нагрузок трехосных тканей на разрыв с учетом ГОСТ 29104.4-91, которые имеют следующий вид:

$$R_{\text{ост}} = k_o \cdot 10^{-2} (P_o \cdot B_3 \cdot \rho_o \cdot T_o + t_{oo}^{\text{ROC}} \cdot f_{oo} + t_{oy}^{\text{ROC}} \cdot f_{oy}) / \cos \beta_o, \quad (2)$$

$$R_{\text{уцт}} = k_y \cdot 10^{-2} (50P_y \cdot \rho_y \cdot T_y + t_{oo}^{\text{RYC}} \cdot f_{oo} + t_{oy}^{\text{RYC}} \cdot f_{oy}), \quad (3)$$

$$t_{oo}^{\text{ROC}} = \frac{k_\ell \cdot P_y}{2} \left( \frac{P_o}{2} - 1 \right), \quad (4)$$

$$t_{oy}^{\text{ROC}} = t_{oy}^{\text{RYC}} = P_o \cdot P_y, \quad (5)$$

$$t_{oo}^{\text{RYC}} = \frac{k_\ell \cdot P_o \cdot P_y}{4}, \quad (6)$$

где  $k_o, k_y$  – коэффициенты неоднородности натяжения нитей основы и утка соответственно;  $\rho_o, \rho_y$  – относительные разрывные нагрузки нитей основы и утка соответственно, сН/текс;  $f_{oo}, f_{oy}$  – силы, возникающие при взаимодействии нитей основы между собой, нитей основы и утка между собой соответственно, Н;  $t_{oo}^{\text{ROC}}, t_{oo}^{\text{RYC}}$  – показатели, учитывающие количество точек взаимодействия нитей основы с нитями основы при расчете разрывной нагрузки вдоль основы и утка соответственно;  $t_{oy}^{\text{ROC}}, t_{oy}^{\text{RYC}}$  – показатели, учитывающие количество точек взаимодействия нитей основы с нитями утка при расчете разрывной нагрузки вдоль основы и утка соответственно;  $\beta_o$  – угол наклона нитей основы к линии приложения растягивающей нагрузки.

Для тканей ортогонального строения выражения для прогнозирования разрывных нагрузок с учетом ГОСТ 29104.4-91 имеют следующий вид:

$$R_{\text{ос}} = k_o \cdot 10^{-2} (50P_o \cdot \rho_o \cdot T_o + t_{oy}^{\text{ROC}} \cdot f_{oy}), \quad (7)$$

$$R_{\text{уц}} = k_y \cdot 10^{-2} (50P_y \cdot \rho_y \cdot T_y + t_{oy}^{\text{RYC}} \cdot f_{oy}). \quad (8)$$

Как видно из выражений (2) и (7), разрывная нагрузка трехосной ткани вдоль основы увеличивается в сравнении с ортогональными тканями за счет

расположения основных нитей под углом к линии приложения разрывного усилия, а также за счет наличия в ткани точек взаимодействия основных нитей между собой. Что касается увеличения нагрузки трехосной ткани на разрыв вдоль уточных нитей, то оно также связано с присутствием в трехосной ткани точек взаимодействия основных нитей между собой.

**В третьей главе** проведены результаты сравнительного исследования физико-механических свойств тканей ортогонального и не ортогонального строения.

Исследованы физико-механические свойства разработанной структуры трехосной ткани и однослойной ткани полотняного переплетения. Были сотканы образцы ткани классического строения (полотняного переплетения) и разработанной трехосной ткани (см. рисунок 1, а) и проведены сравнительные исследования физико-механических свойств разработанной ткани и ткани ортогонального строения. При формировании образцов тканей использовалась одинаковая 100% акриловая пряжа как для основных, так и для уточных нитей, количество нитей основы в образцах было одинаковым для обеспечения равного вложения основных нитей в образцы. Полученные результаты физико-механических свойств тканых образцов представлены в таблице.

Физико-механические свойства тканых образцов

№	Полотняное переплетение		Трехосное переплетение	
	Удлинение, мм	Разрывная нагрузка, кН	Удлинение, мм	Разрывная нагрузка, кН
1	55	0,825	65	0,845
2	50	0,820	55	0,850
3	55	0,825	60	0,840
Среднее значение	53,333	0,823	60	0,845

Из таблицы видно, что удлинение на разрыв по основе у образцов триаксиальной ткани больше, чем у образцов полотняного переплетения, в среднем на 11 %, а разрывная нагрузка – в среднем на 2,6 %, что статистически значимо. При этом плотность ткани по основе у образцов полотняного переплетения составила 101 нит./дм, а по утку – 34 нит./дм. У образцов триаксиального переплетения плотность ткани по основе составила 99 нит./дм, а по утку – 32 нит./дм. В результате исследования тканых образцов было определено, что сила взаимодействия нитей основы и утка в точке контакта в 2,3 раза больше силы взаимодействия нитей основы и основы.

В настоящее время отечественные ткани технического назначения вырабатываются исключительно ортогональным строением. Известно, что отечественное ткацкое оборудование не обеспечивает равенство физико-механических свойств тканого полотна по мере схода основы с ткацкого навоя, поэтому проведено сравнительное исследование физико-механических свойств однослойной хлопчатобумажной ткани бязь 262 арт., выработанной на ткацких станках СТБ-180, OMNIplus-280 и OMNIplus-380 фирмы Picanol.

Исследование проводилось по ширине тканого полотна: в фоне и обеих око-локромочных областях, в начале рулона и в его конце, по основным и по уточным нитям. Также параллельно исследовались образцы бязей по определению плотностей и значений уработки нитей выработанных тканей по основе и по утку в вышеуказанных областях.

После анализа результатов испытаний тканей, выработанных на разных типах ткацких станков, установлено, что ни станок СТБ-180, ни станки OMNIplus-280 и OMNIplus-380 фирмы Picanol не являются идеальными с точки зрения равномерности физико-механических свойств вырабатываемого тканого полотна как по ширине, так и по длине. Это подтвердило необходимость разработки структур однослойных тканей, которые по своему строению обеспечивают равенство физико-механических свойств во всех направлениях тканого полотна, что особенно важно для тканей специального назначения.

**В четвертой главе** проведены результаты аналитического исследования уработок нитей в однослойных тканях ортогонального строения.

В настоящее время на рынке текстильных материалов представлен широкий выбор тканей. Основным показателем, определяющим материалоемкость ткани, является уработка. При формировании тканей с различными видами переплетений, например в полосах, а также при формировании любой однослойной ткани с кромками использование переплетений со значимо разной величиной средней длины перекрытия основы в раппорте ткани приводит к разноурабатываемости основных нитей и, как следствие, либо к их обрывности, либо провисанию. Поэтому величина возможной разницы уработок нитей основы в ткани является показателем стабильности протекания процесса ткачества, т.е. ее технологичности.

Предложено аналитическое выражение для определения возможной величины разницы между уработками нитей основы  $\Delta a$  в фоне и кромке ткани, позволяющее прогнозировать стабильность процесса формирования ткани с разноурабатывающимися нитями основы:

$$\Delta a \leq \frac{\left( \frac{4k_{\text{упр}} Q_0 T_0 \cdot 10^{-2}}{E\pi d_0^2} - \frac{\lambda_{\text{пр}}}{L_0} \right) (1 - 0,01a_0)}{0,01 \left( 1 + \frac{4k_{\text{упр}} Q_0 T_0 \cdot 10^{-2}}{E\pi d_0^2} - \frac{\lambda_{\text{пр}}}{L_0} \right)}, \quad (9)$$

где  $Q_0$  – относительная разрывная нагрузка, сН/текс;  $k_{\text{упр}}$  – коэффициент, определяющий долю упругой деформации в общей;  $T_0$  – линейная плотность основной пряжи, текс;  $L_0$  – приведенная длина основной нити, для которой рассчитывается деформация, мм;  $E$  – модуль упругости нитей основы, МПа;  $d_0$  – диаметр основной нити, мм;  $\lambda_{\text{пр}}$  – деформация нити основы от процесса приобья, мм;  $a_0$  – уработка основы в фоне ткани, %.

Выражение (9) позволяет рассчитать возможную величину разницы между уработками нитей основы и в продольных полосах ткани для обеспечения условия стабильного протекания процесса ткачества. Однако, как видно из выражения (9), для определения возможной величины разницы уработок основных нитей в ткани уработка нитей основы в определяющей полосе ткани или в фоне ткани должна быть известна либо ее необходимо спрогнозировать. Определяющая полоса – это такая полоса ткани, для которой настраивают работу основного регулятора, обычно в ней наибольшее количество нитей и, как правило, наибольшая величина уработки нитей основы.

Предложено аналитическое выражение для прогнозирования уработки основных нитей в фоне, учитывающее плотности ткани обеих систем нитей, переплетение, линейные плотности нитей основы и утка, а также коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по основе:

$$a_o = \frac{0,01P_y \sqrt{(d_o + d_y)^2 - \left(\frac{100 \cdot K_{HO}}{P_o}\right)^2 + \left(\frac{100}{P_y}\right)^2} - 1}{0,01P_y \sqrt{(d_o + d_y)^2 - \left(\frac{100 \cdot K_{HO}}{P_o}\right)^2 + \left(\frac{100}{P_y}\right)^2} + \frac{R_y}{t_o} - 1} \cdot 100, \quad (10)$$

где  $d_o, d_y$  – диаметры основной и уточной нити соответственно, мм;  $P_o, P_y$  – плотности ткани по основе и по утку соответственно, нит./дм;  $R_y$  – рапорт по утку переплетения фона ткани;  $K_{HO}$  – коэффициент наполнения ткани волокнистым материалом по основе в фоне;  $t_o$  – среднее число пересечек, приходящихся на нить основы.

Для определения коэффициента  $K_{HO}$ , входящего в выражение (10), нами на основе геометрии строения максимально уплотненной ткани и с учетом выражений, полученных проф. Г.В. Степановым, были выведены следующие выражения:

$$l_o = d_o + d_y \cdot \delta, \quad (11)$$

$$\delta = \frac{(d_o + d_y) \sqrt{4 - \left(\frac{2P_o}{P_o + P_y}\right)^2} - 2d_o}{2d_y}. \quad (12)$$

где  $\delta$  – коэффициент, определяющий изменение диаметра уточной нити в месте пересечки.

После подстановки выражения (12) в известную формулу определения коэффициента наполнения ткани волокнистым материалом, получено выражение для прогнозирования коэффициента  $K_{HO}$  без промежуточного определения геометрической плотности и ПФС, что значительно упрощает процесс

проектирования ткани:

$$K_{HO} = \frac{P_o \left( d_o t_y + 0,5 t_y \left( (d_o + d_y) \sqrt{4 - \left( \frac{2P_o}{P_o + P_y} \right)^2} - 2d_o \right) + (R_o - t_y) d_o \right)}{100 R_o}. \quad (13)$$

Предложено аналитическое выражение для прогнозирования уработки основных нитей в закладной кромке или усиленной по основе:

$$a_{Okr} = \frac{0,01 P_{ykr} \sqrt{(d_o + d_y)^2 - \left( \frac{100 \cdot K_{HOkr}}{B \cdot P_{Okr}} \right)^2 + \left( \frac{100}{P_{ykr}} \right)^2} - 1}{0,01 P_{ykr} \sqrt{(d_o + d_y)^2 - \left( \frac{100 \cdot K_{HOkr}}{B \cdot P_{Okr}} \right)^2 + \left( \frac{100}{P_{ykr}} \right)^2} + \frac{R_{ykrT}}{t_{Okr}} - 1} \cdot 100. \quad (14)$$

По причине того, что при проектировании тканей к переплетению фона подбирают переплетение кромки, а не наоборот, предложено выражение, позволяющее подбирать переплетение кромки к заданному переплетению фона при обеспечении условия стабильного протекания процесса ткачества:

$$\frac{R_{ykrT}}{t_{Okr}} \geq \frac{P_{ykr} \sqrt{(d_o + d_y)^2 - \left( \frac{100 K_{HOkr}}{B \cdot P_{Okr}} \right)^2 + \left( \frac{100}{P_{ykr}} \right)^2} - 100}{a_o + \Delta a} - 0,0 P_{ykr} \sqrt{(d_o + d_y)^2 - \left( \frac{100 K_{HOkr}}{B \cdot P_{Okr}} \right)^2 + \left( \frac{100}{P_{ykr}} \right)^2} + 1. \quad (15)$$

Методика подбора переплетения в кромке ткани (усиленной или закладной):

- 1) прогнозируется уработка основных нитей в фоне ткани по выражению (10) по заправочным параметрам ткани;
- 2) по выражению (9) определяется допустимая величина разницы уработок фоновых и кромочных нитей;
- 3) прогнозируется уработка основных нитей в кромке ткани по выражению (14) по заправочным параметрам;
- 4) проводится сравнительный анализ выполнения неравенства  $a_{Okr} \leq a_o + \Delta a$ : в случае его выполнения выбранное переплетение кромки обеспечит стабильное протекание процесса ткачества, в противном случае по выражению (15) определяется отношение характеристик переплетения кромки ткани и принимается решение о выборе переплетения.

Для прогнозирования теоретической величины уработки нитей основы в  $i$ -й полосе  $a_{oi}$  и коэффициента наполнения ткани в  $i$ -й полосе  $K_{HOi}$  для ткани с продольными полосами можно использовать выражения (10) и (13) с учетом замены параметров строения для фона ткани на параметры строения для  $i$ -й полосы.

Неравенство, прогнозирующее технологичность ткани, вырабатываемой с продольными полосами, имеет следующий вид:

$$a_{O_i} \leq a_{O_1} + \Delta a, \quad (16)$$

где  $a_{O_i}$  – прогнозируемая уработка нитей основы в  $i$ -й полосе ткани, %;  $a_{O_1}$  – уработка нитей основы в определяющей полосе ткани, %;  $\Delta a$  – допустимая величина разницы значений уработок нитей основы с учетом физико-механических свойств используемой пряжи, %.

Для выполнения неравенства (16) самым основным фактором, который можно изменять, является отношение характеристик переплетения  $R_{y_i}/t_{O_i}$   $i$ -й полосы, которое для ткани с продольными полосами аналогично выражению (15) с учетом замены параметров строения для фона ткани на параметры строения для  $i$ -й полосы. Если для переплетения  $i$ -ой полосы ткани потребуется большая длина нити, чем для переплетения определяющей полосы, то эта полоса будет формироваться стабильно в том случае, если хватит запаса допустимой разницы  $\Delta a$  в значениях уработок определяющей и  $i$ -й полосы. В случае если для переплетения  $i$ -й полосы ткани подаваемая длина основным регулятором является большей, чем нужно, то нити основы будут выходить на поверхность ткани, занимая больший объем, при этом уработка утка будет уменьшаться, а порядок фазы строения ПФС этой полосы увеличиваться. Таким образом, вопрос определения возможности одновременной выработки ткани с разными продольными полосами решается с позиции сравнения теоретических уработок нитей основы в продольных полосах относительно уработки нитей в полосе, определяющей длину основной нити, подаваемой в зону формирования.

Методика подбора переплетения в полосах ткани с продольными полосами аналогична методике подбора переплетения в кромке ткани с использованием выражений (9), (10), (15) и (16).

В среде Microsoft Office Excel разработаны программы для подбора переплетений в продольных полосах и в кромке ткани, усиленной либо закладной, с учетом обеспечения стабильного протекания процесса ткачества.

Кроме того, в четвертой главе исследованы параметры осевой линии изгиба и величины уработки нитей в однослойной ткани с использованием геометрического метода определения уработки и нелинейной теории изгиба.

Согласно положениям известного метода упругих параметров нелинейной теории изгиба упругих стержней для определения модулярного угла Е.П. Поповым созданы таблицы со значениями упругих параметров  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\lambda$ . Зная модулярный угол, можно определить все параметры кривой линии изгиба нити.

Разработана методика определения модулярного угла упругой линии изгиба нити на основе заправочных параметров ткани: по заданным плотностям ткани, линейным плотностям нитей и жесткостным характеристикам используемых нитей. В среде Microsoft Office Excel создана программа для

расчета упругих параметров осевой линии изгиба нитей в ткани, сил нормального давления, уточнения жесткостных характеристик пряжи, позволяющая определять основные параметры строения однослойной ткани.

С целью выявления ошибки, возникающей между экспериментальными данными и теоретическими значениями уработок основных и уточных нитей при проектировании ткани, проводились вычисления уработок нитей в ткани с использованием двух методов: метода упругих параметров и геометрического метода по заданным плотностям ткани, линейным плотностям нитей и их жесткостным характеристикам. В результате проведенных теоретических исследований установлено, что относительная ошибка в определении величины уработки нитей основы в ткани составила в среднем 20 % при использовании геометрического метода относительно экспериментальных значений.

### **Итоги выполненного исследования**

1. Разработаны структуры трехосных тканей с самоформирующимися неосыпаемыми кромками, в которых нити основы как переплетаются с нитями утка, так и взаимодействуют между собой по всей ширине полотна. Установлено, что в зоне контакта нитей сила нормального давления нитей основы друг на друга в 2,3 раза меньше, чем сила нормального давления нити основы на нить утка.

2. Предложены выражения для определения раппортов разработанных трехосных тканей и единые теоретические выражения для прогнозирования разрывных нагрузок по основе и по утку для разработанных триаксиальных тканей и для тканей ортогонального строения, учитывающие плотности ткани по основе и по утку, линейные плотности нитей и их физико-механические свойства.

3. Исследованы образцы трехосной ткани новой структуры и ткани ортогонального строения полотняного переплетения при условии одинакового материаловложения, для которых определено, что удлинение на разрыв по основе у образцов триаксиальной ткани больше, чем у образцов полотняного переплетения, в среднем на 11%, а разрывная нагрузка – в среднем на 2,6 %.

4. Предложены методики подбора переплетений в фоне и кромке ткани (закладной или усиленной по основе), в продольных полосах ткани, учитывающие возможные варианты переплетения полос, фона и кромки, применение которых обеспечит проектирование технологичных тканей рациональных структур. Кроме того, в среде Microsoft Office Excel разработаны программы для автоматизированного подбора переплетений в продольных полосах ткани и кромке (закладной или усиленной по основе).

5. Предложены аналитические неравенства для определения возможной величины разницы между уработками нитей основы в продольных полосах ткани и между уработками основных нитей в фоне и кромке ткани, выполнение которых обеспечивает стабильность протекания процесса формирования ткани.



6. Предложены выражения для прогнозирования материалоемкости, уработок нитей и коэффициентов наполнения ткани волокнистым материалом по основе в продольных полосах ткани, в фоне и кромке ткани и по утку, позволяющие теоретически определять значения уработок нитей на стадии проектирования ткани по заданным плотностям ткани обеих систем нитей, линейным плотностям нитей и переплетению.

7. Установлено, что ни станок СТБ-180, ни станки OMNIplus-280 и OMNIplus-380 фирмы Picanol не являются идеальными с точки зрения равномерности физико-механических свойств вырабатываемого тканого полотна как по ширине, так и по его длине, что подтвердило необходимость разработки структур однослойных тканей, которые по своему строению обеспечивают равенство физико-механических свойств тканого полотна во всех направлениях.

8. Предложена методика сравнительного анализа значений уработок основных и уточных нитей, определяемых геометрическим методом и методом упругих параметров нелинейной теории изгиба упругих стержней, позволившая установить причину ошибки, возникающей между экспериментальными данными и теоретическими значениями уработок основных и уточных нитей в ткани, которая составляет в среднем 20 %. Кроме того, в среде Microsoft Office Excel создана программа для определения упругих параметров осевой линии изгиба нитей в ткани, сил нормального давления, уточнения жесткостных характеристик пряжи, позволяющая рассчитать основные параметры строения однослойной ткани.

### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы**

Проведенные исследования могут служить основой:

- для разработки техники и технологии изготовления предложенных структур изотропных триаксиальных тканей на ткацком станке, которые позволят формировать не ортогональные ткани с самоформирующимися кромками с заданными свойствами с учетом количества перемещений нитей основы вдоль нитей утка;

- промышленного освоения разработанной структуры изотропной триаксиальной ткани, что позволит осуществить импортозамещение тканей не ортогонального строения и оборудования для их производства для обеспечения наполнения российского рынка отечественными тканями специального назначения;

- развития нелинейной теории изгиба применительно к тканям не ортогонального строения и более широкой области использования (не только главного класса), что позволит прогнозировать строение и физико-механические свойства однослойных тканей с учетом жесткостных характеристик используемых нитей.

В реализации указанных рекомендаций заключаются перспективы дальнейшей разработки данной темы.

**Основные научные публикации по теме диссертационного  
исследования:**

1. Кожевникова, Л.В. Исследование параметров осевой линии изгиба и величины уработки нитей основы в однослойной ткани / Т.Ю. Карева, А.В. Авдусина, Л.В. Кожевникова, Т.Е. Грекова // Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2014. – № 1. – С. 60-65 (0,58 п.л. / 0,29 п.л.).

2. Кожевникова, Л.В. Прогнозирование возможности формирования ткани с разноурabayaющимися нитями / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова, А.В. Авдусина // Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2014. – № 2. – С. 56-59 (0,46 п.л. / 0,23 п.л.).

3. Кожевникова, Л.В. Сравнительное исследование физико-механических свойств однослойной хлопчатобумажной ткани, вырабатываемой на ткацких станках СТБ-180 и OMNIPLUS фирмы PICANOL / Л.В. Кожевникова, Т.Ю. Карева // Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2016. – № 1. – С. 71-75 (0,58 п.л. / 0,35 п.л.).

4. Кожевникова, Л.В. Ткань с переменной плотностью по утку – некоторые вопросы строения и особенности формирования / Л.В. Кожевникова, Т.Ю. Карева, А.А. Панова // Интеллектуальный потенциал – источник возрождения текстильной промышленности: сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Шахты: ЮРГУЭС, 2010. – С. 56-59 (0,23 п.л. / 0,12 п.л.).

5. Кожевникова, Л.В. Исследование возможности формирования ткани с использованием в раппорте переплетений с разноурabayaющимися нитями / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова, А.А. Антипова, Ю.Ф. Ерохин // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2010): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2010. – Ч.1. – С 77-78 (0,12 п.л. / 0,06 п.л.).

6. Кожевникова, Л.В. Разработка алгоритма выбора вида переплетения для кромки ткани / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова, А.В. Авдусина, О.Ю. Шейнов, П.А. Конов // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2011): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2011. – Ч. 1. – С. 93 (0,06 п.л. / 0,03 п.л.).

7. Кожевникова, Л.В. Исследование параметров строения ткани, выработанной на ткацких станках СТБ и Пиканоль / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова, А.В. Авдусина, Н.А. Конов // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2011): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2011. – Ч. 1. – С. 92-93 (0,12 п.л. / 0,06 п.л.).

8. Кожевникова, Л.В. Исследование параметров осевой линии изгиба нитей основы и утка в раппорте ткани полотняного переплетения на основе нелинейной теории изгиба / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова, А.В. Авдусина, О.Ю. Шейнов // Сборник научных трудов по ткачеству, посвященный 100-летию со дня рождения П.В. Власова. – М.: МГТУ, 2011. – С. 137-140 (0,23 п.л. / 0,12 п.л.).

9. Кожевникова, Л.В. Особенности определения сил взаимного давления нитей основы и утка в элементе ткани / Т.Ю. Карева, А.В. Авдусина, Л.В. Кожевникова, Т.И. Шейнова // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс-2012): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИГТА, 2012. – Ч.1.– С. 57-58 (0,12 п.л. / 0,06 п.л.).

10. Кожевникова, Л.В. Исследование взаимного расположения нитей основы и утка в ткани не ортогонального строения / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова, О.Ю. Шейнов // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2012): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2012. – Ч.1. – С. 71 (0,06 п.л. / 0,03 п.л.).

11. Кожевникова, Л.В. Исследование изменения статического натяжения при формировании ткани на отечественных ткацких станках / Т.Ю. Карева, О.Ю. Шейнов, Л.В. Кожевникова // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2012): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2012. – Ч.1. – С. 72 (0,06 п.л. / 0,03 п.л.).

12. Кожевникова, Л.В. Исследование физико-механических свойств ткани, выработанной на станках СТБ и PISCANOL / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2013): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИВГПУ, 2013. – Ч.1. – С. 66 (0,06 п.л. / 0,03 п.л.).

13. Кожевникова, Л.В. К вопросу использования геометрического метода определения величины уработки нитей в ткани / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова, Т.И. Шейнова // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс – 2013): сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Ч. 1. – Иваново: ИВГПУ, 2013. – С. 100-101 (0,12 п.л. / 0,06 п.л.).

14. Кожевникова, Л.В. Исследование влияния вида поперечного сечения и величины смятия нитей на порядок фазы строения ткани / Т.Ю. Карева, Э.М. Гриднева, Л.В. Кожевникова // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (Поиск-2015): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов с междунар. участием.– Иваново: ИВГПУ, 2015. – Ч. 1. – С. 41-42 (0,12 п.л. / 0,06 п.л.).

15. Кожевникова, Л.В. К вопросу определения уработки нитей в ткани по геометрической модели ее строения / Т.Ю. Карева, Н.С. Токарева, В.П. Тайкова, Л.В. Кожевникова // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (Поиск-2015): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов с междунар. участием. – Иваново: ИВГПУ, 2015. – Ч. 1. – С. 44-46 (0,17 п.л. / 0,12 п.л.).

16. Кожевникова, Л.В. Аналитическое определение уработки фоновых нитей в ткани через заправочные параметры ткани / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова // Моделирование в технике и экономике: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. – Витебск: ВГТУ, 2016. – С. 87-88 (0,12 п.л. / 0,06 п.л.).

17. Кожевникова, Л.В. Прогнозирование величины уработки фоновых основных нитей с целью нормализации процесса ткачества / Т.Ю. Карева, Л.В. Кожевникова, Т.И. Шейнова // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2016): сб. материалов всерос. науч. студенческой конф. – М.: МГУДТ, 2016. – С. 59-61 (0,17 п.л. / 0,12 п.л.).

18. Кожевникова, Л.В. Аналитическое определение уработки основных нитей по заправочным параметрам ткани на ткацком станке / Л.В.Кожевникова, С.О. Кожевников // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016): сб. материалов XIX Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2016. – Ч. 1.– С. 280-284 (0,29 п.л. / 0,17 п.л.).

19. Кожевникова, Л.В. Особенности структуры трехосной ткани /Л.В. Кожевникова, Т.Ю. Карева, С.О. Кожевников // Вестник молодых ученых СПГУТД. – 2016. – № 4. – С. 6-9 (0,46 п.л. / 0,12 п.л.).

20. Кожевникова, Л.В. Методика подбора переплетения в продольных полосах ткани с условием обеспечения стабильного протекания процесса ткачества / Л.В. Кожевникова // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2017): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов с междунар. участием. – Иваново: ИВГПУ, 2017. – С. 38-40 (п.л.0,17/ 0,17 п.л.).

21. Кожевникова, Л.В. Аналитическое определение уработки нитей основы в ткани с продольными полосами через заправочные параметры ткани на ткацком станке /Л.В. Кожевникова, Т.Ю. Карева, С.О. Кожевников // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2017): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов с междунар. участием. – Иваново: ИВГПУ, 2017. – С. 40-41 (0,12 п.л. / 0,06 п.л.).

Подписано в печать 05.10.2017.

Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Плоская печать.

Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,11. Тираж 100 экз. Заказ № 3090

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Издательский центр ДИВТ

153000, г. Иваново, Шереметевский проспект, 21